

DEVELOPMENT OF A WATER CHANNEL SYSTEM FOR WAVE-STRUCTURE
INTERACTION STUDIES

VOT 71653

PROJECT LEADER: DR. NOR AZIZI BT. MOHAMED

PROGRAM PENGAJIAN DIPLOMA
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

MEREKABENTUK SEBUAH SISTEM SALURAN AIR BAGI KAJIAN
INTERAKSI GELOMBANG DENGAN STRUKTUR.

VOT 71653

KETUA PROJEK: DR. NOR AZIZI BT. MOHAMED

PROGRAM PENGAJIAN DIPLOMA
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

BORANG PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKANTAJUK PROJEK : DEVELOPMENT OF A WATER CHANNEL
SYSTEM FOR WAVE-STRUCTURE
INTERACTIONSaya DR. NOR AZIDI BT. MOHAMED
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan Laporan Akhir Penyelidikan ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.

☐ Tandakan (/)☐ SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).

☐ TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).

oleh

☒ TIDAK
TERHAD

TANDATANGAN

KETUA

PENYELIDIK

CATATAN : * Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai

ABSTRAK

Model fizikal telah sekian lama menjadi salah satu kaedah penyelidikan gelombang air. Dalam model fizikal, sistem penjana gelombang memainkan peranan yang penting bagi penghasilan gelombang air yang ingin dikaji. Dalam projek ini, satu sistem penjana gelombang air telah direkabentuk untuk mewakili prototaip dengan amplitud sehingga 1 meter dan tempoh dalam julat 0.1 saat hingga 15 saat yang merambat di atas air dengan kedalaman sehingga 15 meter. Sistem yang dibina ini yang merangkumi pengayuh, pengawal jarak ayunan pengayuh, satu komponen mekanikal untuk menukarkan gerakan putaran motor kepada gerakan linear pengayuh dan satu punca kuasa. Dua jenis pengayuh yang dipilih ialah jenis piston dan flap. Komponen mekanikal yang telah direka dapat menghasilkan gelombang sinusoid. Manakala punca kuasa yang dibina telah dapat dioperasi dalam julat voltan 1.2 volt hingga 15 volt bagi pengawalan kelajuan motor dan seterusnya menentukan frekuensi gelombang yang dijana. Sistem penjana gelombang ini berupaya menjanakan gelombang air dalam julat frekuensi 0.50 Hertz hingga 10.00 Hertz serta amplitud sehingga 0.02 meter.

ABSTRACT

Physical models or laboratory studies had long been used as one of the techniques for water wave research. The wave generator plays an important role in generating water waves for such studies. In this project, a wave generation system was designed and constructed to generate waves representing prototype with amplitude up to 1 metre and period in the range of 0.1 second to 15 seconds propagating over a depth of up to 15 metres. The system comprise of a paddle, a paddle stroke controller, and a mechanical component for converting the rotational motion of the motor into a linear motion of the paddle. Two types of paddle chosen are the piston-type and the flap-type. The mechanical system designed is capable of producing sinusoidal waves. The variable voltage power supply operating within the range of 1.2 volt to 15 volt is able to control the motor speed, thus determine the frequency of the generated wave. This wave generator system is capable of generating water waves in the frequency range of 0.50 Hertz to 10.00 Hertz with amplitude up to 0.02 metres.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKASURAT
	TAJUK	
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	x
	SENARAI RAJAH	xi
	SENARAI SIMBOL/ SINGKATAN/ ISTILAH	xiv
 BAB I	 Pengenalan	 1
	1.1 Gelombang Air	1
	1.2 Objektif	3
	1.3 Skop Kajian	3
	1.4 Rumusan Mengenai Tajuk-tajuk	4
 BAB II	 Teori	 5
	2.1 Latar Belakang	5

2.2	Gelombang Air	6
2.2.1	Sifat Asas Gelombang Air	6
2.2.2	Teori Linear Gelombang Air	8
2.3	Pemodelan	11
2.3.1	Sejarah dan Latar Belakang Model Hidrodinamik	11
2.3.2	Model Fizikal dan Tujuannya	12
2.3.3	Kebaikan dan Keburukan Model Fizikal	12
2.4	Kaedah Penentuan Skala	14
2.4.1	Analisis Dimensi	14
2.4.2	Hukum Kekerupaan	15
2.5	Penjanaan Gelombang	16
2.5.1	Pengenalan	16
2.5.2	Teori Penjanaan Gelombang	17
2.6	Pengukuran	18

BAB III PEMBINAAN SISTEM PENJANA GELOMBANG DAN PENGUJIAN GELOMBANG

3.1	Sistem Penjana Gelombang Air	20
3.1.1	Punca Kuasa	22
3.1.2	Sistem Penjana	24
3.1.2.1	Motor	24
3.1.2.2	Pengawal Jarak Ayunan	24
3.1.2.3	Sistem Pertukaran Gerakan Putaran ke Gerakan Linear	26
3.1.2.4	Pengayuh	28
3.1.2.5	Saluran Air	29
3.1.2.6	Penyerap Gelombang	29
3.2	Pengujian Gelombang Air yang Dijanakan	31
3.2.1	Sensor dan Prinsip Kerjanya	31
3.2.2	Rekoder	32

BAB IV	KEPUTUSAN PENGUJIAN DAN PERBINCANGAN	33
4.1	Profil Gelombang	33
4.2	Tempoh Gelombang dan Tinggi Gelombang	45
BAB V	KESIMPULAN DAN CADANGAN	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Cadangan	48
SENARAI RUJUKAN		50

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Keadaan gelombang air	10
2.2	Kriteria hidrolik	15
4.1	Tempoh ayunan, tempoh gelombang dan tinggi gelombang bagi gelombang air yang dijanakan oleh pengayuh jenis piston dan jenis flap	46

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Kategori gelombang air berdasarkan tempoh gelombang dan tenaga yang diperolehinya, serta punca hasilnya	2
2.1	Parameter asas gelombang air	6
2.2	Penjana gelombang dua dimensi	8
3.1	Keseluruhan sistem penjana gelombang air	21
3.2	Sistem penjana gelombang air	21
3.3	Punca kuasa dan sistem penjana	22
3.4	Litar regulator voltan boleh ubah	23
3.5	Sistem penjana	24
3.6	Lakaran pengawal jarak ayunan	25
3.7	Lakaran sistem pertukaran gerakan putaran kepada gerakan linear	26
3.8	Pergerakan sistem pertukaran mengikut gerakan putaran pengawal jarak ayunan	27
3.9	Sistem penjana yang telah dibuka	27
3.10	Lakaran bagi dua jenis pengayuh iaitu jenis piston dan jenis flap	28
3.11(a)	Pengayuh jenis piston	29
3.11(b)	Pengayuh jenis flap	29
3.12	Penyerap gelombang	30
3.13	Penyerap gelombang kecil di belakang pengayuh	30

3.14	Sensor dan rekoder yang digunakan untuk pengujian gelombang	31
3.15	Litar elektronik untuk mengukur perubahan kapasitans bagi sensor jenis kapasitans	32
4.1	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.0 saat	34
4.2	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.1 saat	34
4.3	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.2 saat	35
4.4	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.3 saat	35
4.5	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.4 saat	36
4.6	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.5 saat	36
4.7	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.6 saat	37
4.8	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.7 saat	37
4.9	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.8 saat	38
4.10	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.9 saat	38
4.11	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 2.0 saat	39
4.12	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.0 saat	39
4.13	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.1 saat	40
4.14	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.2 saat	40

4.15	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.3 saat	41
4.16	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.4 saat	41
4.17	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.5 saat	42
4.18	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.6 saat	42
4.19	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.7 saat	43
4.20	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.8 saat	43
4.21	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.9 saat	44
4.22	Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 2.0 saat	44

SENARAI SINGKATAN/ SIMBOL/ ISTILAH

A	-	Amplitud
C	-	Pemalar Bernoulli
c	-	Halaju gelombang
d	-	Jarak antara probe sensor dengan sasaran
E	-	Modulus kekenyalan
Eu	-	Nombor Euler
F	-	Daya
Fr	-	Nombor Froude
f	-	frekuensi
g	-	Pecutan graviti
H	-	Tinggi gelombang
h	-	Kedalaman air
k	-	Nombor gelombang
L	-	Panjang
LCD	-	Pemapar hablur cecair (<i>Liquid Crystal Display</i>)
N	-	Faktor skala
P	-	Tekanan
Re	-	Nombor Reynolds
s	-	Jarak ayunan pengayuh
T	-	Tempoh
t	-	Masa
u	-	Vektor halaju
v	-	Halaju
We	-	Nombor Weber
X	-	Suatu parameter
x	-	Jarak rambatan gelombang

x	-	Arah dalam sistem koordinat
z	-	Arah dalam sistem koordinat
∇	-	Operator del
∂	-	Operator pembeza separa
η	-	Anjakan permukaan air
λ	-	Panjang gelombang
μ	-	Pemalar dinamik kelikatan
ν	-	Pemalar kinematik kelikatan
ρ	-	Ketumpatan jisim atau ketumpatan bendalir
σ	-	Tegangan permukaan
ϕ	-	Fungsi keupayaan
π	-	Pemalar Pi [=3.14159...]
ω	-	Frekuensi sudut

Subskrip

m	-	Model
p	-	Prototaip

BAB I

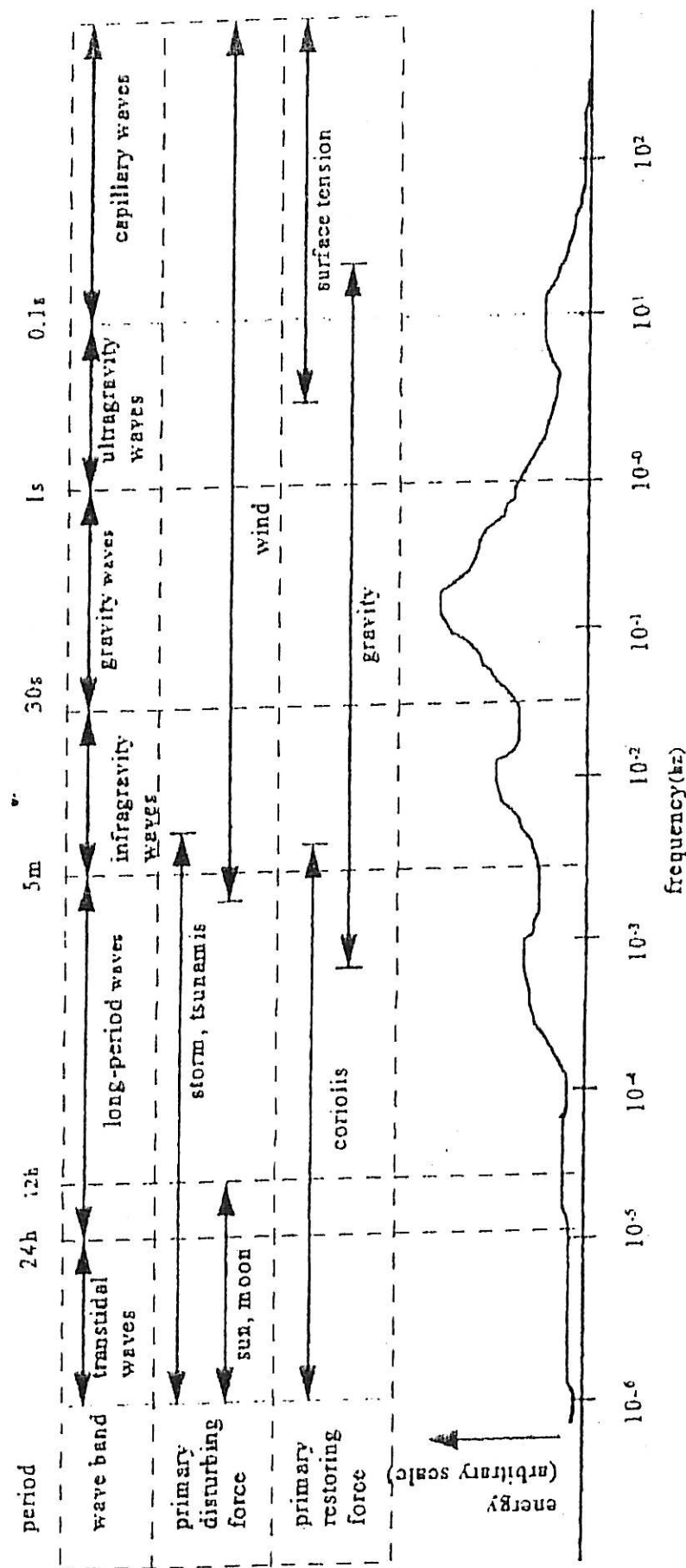
PENGENALAN

1.1 Gelombang Air

Gelombang air merupakan suatu fenomena pada permukaan air yang biasa diperhatikan. Gelombang air dijanakan oleh daya yang dikenakan ke atasnya. Tiupan angin ataupun objek yang jatuh ke dalam air akan menghasilkan gelombang air. Rajah 1.1 menunjukkan jenis-jenis gelombang yang dikelaskan berdasarkan tempohnya, tenaga yang dipunyai serta punca hasilnya.

Dalam projek ini, gelombang yang dijanakan adalah gelombang yang mewakili gelombang dalam julat gelombang graviti iaitu julat tempohnya adalah antara 1 saat hingga 30 saat.

Teori linear gelombang air telah dipilih mewakili penjanaan gelombang air dua dimensi dalam saluran air terbuka yang dibina. Teori ini merupakan teori asas yang mudah di mana beberapa anggapan dibuat dan syarat-syarat sempadan dipatuhi.



Rajah 1.1 : Kategori gelombang air berdasarkan tempoh gelombang dan tenaga yang diperolehnya, serta punca hasilannya. (Kinsman 1965)

1.2 Objektif

Objektif utama projek ini adalah untuk membina satu sistem penjana gelombang air. Sistem ini merangkumi punca kuasanya, punca gerakannya, saluran air serta penghasil gelombangnya iaitu dua jenis pengayuh, jenis flap dan jenis piston.

Bagi membuktikan fungsi sistem penjana, gelombang air yang dijana perlu diuji. Di sinilah terletaklah objektif kedua projek ini. Gelombang air yang dihasilkan akan diuji dengan sensor dan sifat gelombang serta profil akan diperolehi.

1.3 Skop Kajian

Dalam sistem ini, dua jenis pengayuh telah dibina untuk menjanakan gelombang air. Gelombang yang dijanakan adalah linear. Model yang dibina adalah jenis dasar tetap di mana struktur model tidak berubah terhadap rambatan gelombang.

Sistem penjana yang direkabentuk dan dibina adalah model yang diskalakan berdasarkan skala keserupaan Froude yang bernilai $1/49$. Sistem mampu menghasilkan gelombang air yang mewakili julat gelombang graviti yang sebenar mengikuti kategori Kinsman (1965). Model yang dibina boleh menghasilkan gelombang 1.00 saat hingga 2.00 saat yang mewakili gelombang sebenar dalam tempoh 7.00 saat hingga 14.00 saat. Tinggi gelombang yang dihasilkan adalah 0.04 meter mewakili 1.96 meter dalam prototaip sebenar dan kedalaman air untuk menguji gelombang adalah 0.15 meter.

1.4 Rumusan Mengenai Tajuk-tajuk

Bab II akan membincangkan tentang latar belakang kajian, pengenalan mengenai gelombang air dan juga teori linear gelombang air yang merupakan pengetahuan asas tentang gelombang linear. Bab ini juga akan merangkumi serba sedikit mengenai model fizikal, tujuan pembinaannya serta kebaikan dan keburukannya. Seterusnya, kaedah analisis dimensi dan Hukum Kecerupaan akan diperkenalkan sebagai satu langkah yang penting dalam pembinaan sistem penjana. Teori penjana dan pengukuran akan juga dinyatakan.

Bab III akan merangkumi seluruh sistem penjana gelombang dan akan membincangkan sistem dari punca kuasanya hingga kaedah pengukuran gelombang yang dijanakan. Pembinaan sistem, dimensinya, gambar-gambar dan rajah-rajah mengenai seluruh sistem serta penerangannya dimasukkan dalam bab ini. Bab ini juga menerangkan pengukuran gelombang air serta peralatan yang digunakan.

Keputusan pengujian gelombang iaitu profil-profil gelombang bagi dua jenis pengayuh dibincangkan dalam Bab IV.

Akhirnya, kesimpulan akan dibuat dan beberapa cadangan untuk usaha dan kajian lanjutan pada masa depan dikemukakan dalam Bab V.

BAB II

GELOMBANG AIR DAN PENJANAAN GELOMBANG

2.1 Latar Belakang

Kajian terhadap gelombang air telah lama dimulakan terutamanya dalam bidang kejuruteraan awam dan kejuruteraan marin untuk mengkaji kesan gelombang air terhadap struktur binaan seperti jeti dan pelabuhan. Akan tetapi, kajian tentang sifat-sifat fizik asas gelombang air merupakan teras kepada kajian lanjutan seperti kajian tentang sifat dan kelakuan ombak di laut, keadaan arus pada sungai dan perubahan-perubahan persekitaran yang mempengaruhi kelakuan gelombang serta mekanisma -mekanisma aliran yang terlibat.

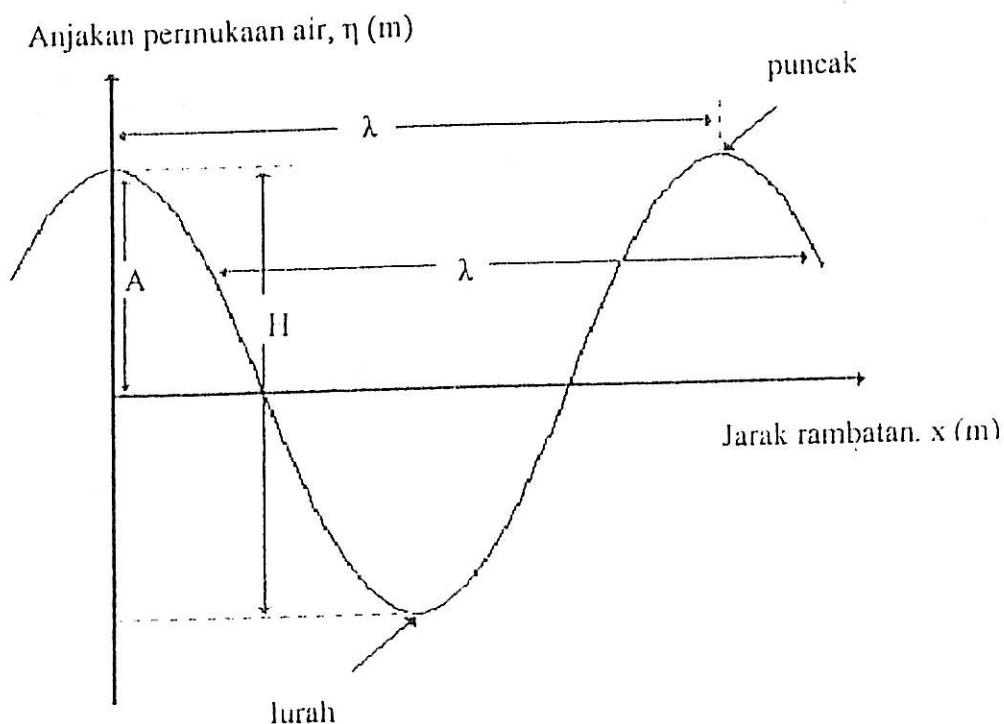
Terdapat pelbagai cara yang telah dicuba dan diperkenalkan dalam mengkaji sifat gelombang air. Hughes (1993) menyatakan bahawa jurutera marin biasanya bergantung kepada tiga jenis kaedah dalam menentukan sifat aliran kompleks projek-projek pantai. Kaedah-kaedah ini ialah pengukuran dan pemerhatian medan, pengukuran dan pemerhatian dalam makmal, serta pengiraan matematik. Pengajian dalam makmal iaitu lebih dikenali sebagai model fizikal, ialah suatu sistem fizikal yang telah diskalakan dimensinya dan dibina dalam makmal untuk mewakili keadaan sebenar gelombang air yang wujud dalam alam semula jadi. Model matematik pula merupakan suatu kaedah yang menggunakan pendekatan matematik untuk mewakili suatu sistem fizikal. Pengukuran medan sebenar juga menjadi salah satu kaedah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai keadaan fizikal pada kawasan tertentu, terutamanya pada kawasan cadangan sesuatu projek binaan.

2.2 Gelombang Air

2.2.1 Sifat Asas Gelombang Air

Gelombang adalah berkala. Ia merambat berulang-ulang untuk tempoh masa yang tertentu. Terdapat pelbagai parameter yang digunakan untuk memerihalkan suatu gelombang. Antara parameter-parameter asas gelombang yang sentiasa dinyatakan ialah tempoh (T) dan tinggi gelombang (H).

Tempoh ditakrifkan sebagai masa yang diceraap antara dua puncak yang bergerak melalui suatu titik tetap, manakala tinggi gelombang ialah jarak menegak dari puncak ke lurah, ataupun dua kali amplitud (A). Panjang gelombang (λ) juga merupakan satu parameter yang penting bagi menunjukkan sifat asas gelombang. Ia ditakrifkan sebagai jarak melintang antara dua puncak (atau dua lurah). Parameter-parameter ini ditunjukkan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1 : Parameter asas gelombang air

Selain daripada parameter asas yang dinyatakan di atas, terdapat juga sebutan yang lain yang digunakan untuk memerihalkan sifat gelombang. Untuk menunjukkan dinamik sesuatu gelombang, halaju gelombang (c) digunakan. Hubungan halaju gelombang dengan parameter asas boleh diperolehi daripada persamaan

$$\text{Halaju gelombang, } c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (2.1)$$

Parameter seperti frekuensi gelombang (f), frekuensi sudut (ω), dan nombor gelombang (k) juga digunakan untuk memerihalkan keadaan sesuatu gelombang. Parameter-parameter ini merupakan terbitan daripada parameter asas, dengan hubungan ditunjukkan seperti di bawah.

$$\text{Frekuensi gelombang, } f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

$$\text{Halaju sudut, } \omega = 2\pi f \quad (2.3)$$

$$\text{Nombor gelombang, } k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.4)$$

Daripada parameter-parameter yang memerihalkan gelombang air, gelombang air adalah dicirikan oleh tempohnya, amplitud atau tinggi gelombangnya dan juga kedalaman airnya.

Gelombang laut (ombak) yang diperhatikan pada permukaan laut adalah fenomena kompleks yang merupakan gabungan beberapa gelombang-gelombang sinusoidal mudah. Ini memberi maksud bahawa ombak di lautan adalah superposisi daripada banyak gelombang, yang merambat pada arah-arrah yang berlainan.

2.2.2 Teori Linear Gelombang Air

Teori Linear Gelombang Air mampu menjelaskan kebanyakan masalah gelombang air dalam kejuruteraan. Dalam teori ini dua anggapan telah dibuat; pertama, air adalah homogen iaitu air tidak boleh dimampatkan. Dengan ini, persamaan keselantaran akan diperolehi dalam bentuk,

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2.5)$$

Anggapan kedua menyatakan bahawa aliran adalah tidak berputar, iaitu

$$\nabla \times u = 0 \quad (2.6)$$

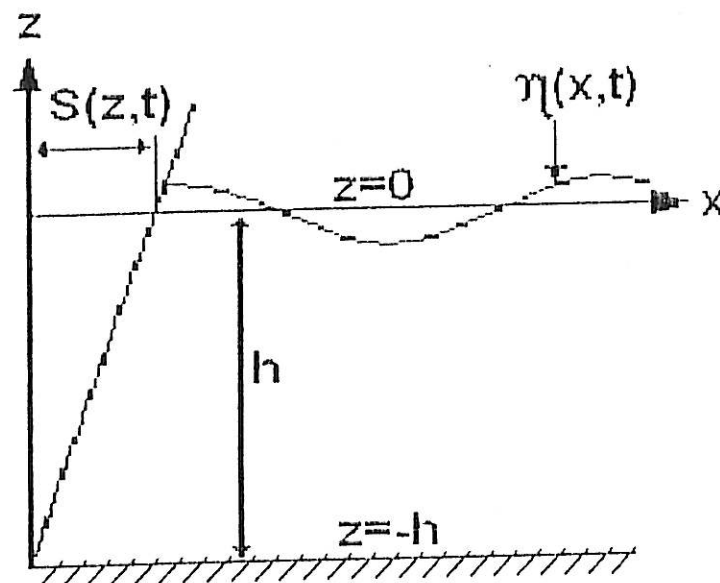
dengan ∇ adalah $\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}$ bagi dua dimensi.

Maka wujud satu fungsi ϕ yang dikenali sebagai fungsi keupayaan mematuhi hubungan

$$u = \nabla \phi \quad (2.7)$$

Menggabungkan persamaan (2.6) dan (2.7), diperolehi persamaan Laplace

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.8)$$



Rajah 2.2 : Penjana gelombang dua dimensi

Untuk menyelesaikan persamaan Laplace bagi mendapatkan ϕ , beberapa syarat sempadan perlu dipatuhi. Pada sempadan bawah, zarah air tidak boleh merentasi dasar iaitu tiada aliran ke arah serenjang dengan dasar, maka keadaan sempadan dasar (Bottom Boundary Condition) dinyatakan sebagai

$$-\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{pada } z = -h \quad (2.9)$$

Pada permukaan air, dua syarat sempadan perlu dipenuhi iaitu syarat sempadan bebas kinematik (Kinematic Free Surface Boundary Condition) dan syarat sempadan bebas dinamik (Dynamic Free Surface Boundary Condition) yang diterbitkan daripada persamaan Bernoulli sebagai

$$-\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \text{pada } z = \eta(x,t) \quad (2.10)$$

$$\text{dan } -\frac{\partial \phi}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] + g\eta = C(t) \quad \text{pada } z = \eta(x,t) \quad (2.11)$$

Keadaan sempadan sisi bagi rambatan gelombang berkala pula diberikan sebagai

$$\phi(x,t) = \phi(x + \lambda, t) \quad (2.12)$$

$$\phi(x,t) = \phi(x, t + T) \quad (2.13)$$

Menggunakan persamaan-persamaan (2.9) hingga (2.13), fungsi keupayaan ϕ diperolehi sebagai

$$\phi = \frac{Hg \cosh k(h+z)}{2\omega \cosh kh} \cos kx \sin \omega t \quad (2.14)$$

Dengan mengetahui fungsi ϕ , halaju zarah air pada sebarang titik dalam aliran boleh diperolehi menggunakan persamaan (2.7)

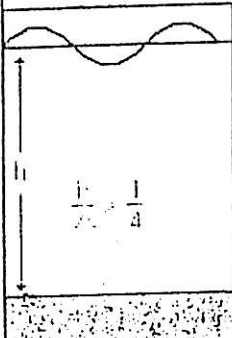
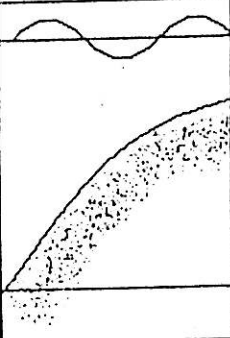
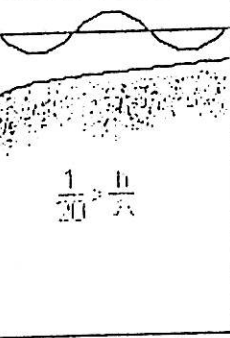
Gelombang di laut boleh dikategorikan kepada 3 jenis:

- (i) keadaan dalam (deep water)
- (ii) keadaan pertengahan (intermediate)
- (iii) keadaan cetek (shallow water)

bergantung kepada parameter $\frac{h}{\lambda}$ atau kh seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.1.

Persamaan-persamaan untuk mendapatkan panjang gelombang dan halaju gelombang juga ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Persamaan ini berubah pada keadaan dalam dan juga keadaan cetek kerana apabila kedalaman air tinggi (nilai h besar), nilai $\tanh(kh)$ akan menghampiri 1 manakala pada keadaan cetek (nilai h kecil), nilai $\tanh(kh)$ akan menghampiri kh .

Jadual 2.1 : Keadaan gelombang air

Parameter	Keadaan dalam	Keadaan pertengahan	Keadaan cetek
$\frac{h}{\lambda}$	$> \frac{1}{4}$		$< \frac{1}{20}$
kh	$> \pi$	$\frac{\pi}{10} < kh < \pi$	$< \frac{\pi}{10}$
λ	$\frac{g}{2\pi} T^2$	$\frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$	$T \sqrt{gh}$
c	$\frac{g}{2\pi} T$	$\left(\frac{g}{k} \tanh kh \right)^{\frac{1}{2}}$	\sqrt{gh}
Gambaran Keadaan			

2.3 Pemodelan

2.3.1 Sejarah dan Latar Belakang Model Hidrodinamik

Kajian mengenai hidrolis melalui pendekatan saintifik dikatakan telah bermula sejak tahun 1500-an iaitu zaman Leonardo da Vinci. Menurut Price (1978), Leonardo merupakan orang yang pertama sekali melukis dan menerangkan beberapa fenomena aliran air semasa eksperimen dan pemerhatian.

Pemerhatian-pemerhatian terhadap proses rambatan air diteruskan oleh ahli-ahli fizik dan kejuruteraan seperti Isaac Newton, Froude, Reynolds dan sebagainya (Ivicsics 1980). Beberapa tokoh yang berusaha dalam membina model-model fizikal ialah John Smeaton, Loius J Fargue, Hubert Engels dan lain-lain lagi (Hudson 1979).

Usaha-usaha dan sumbangan tokoh-tokoh ini telah berkembang dengan penemuan teknik analisi dimensi dan juga ciptaan pelbagai instrumentasi elektronik dan komputer. Kini, model-model ini telah memainkan peranan yang penting dalam kejuruteraan marin dan kajian struktur lautan dan pantai.

Model-model yang digunakan pada hari ini boleh dikelaskan kepada dua kumpulan besar berdasarkan sifat fizikalnya. Yang pertama ialah model dasar tetap. Biasanya ia digunakan untuk mengkaji gelombang, arus dan fenomena-fenomena terkawal. Model yang dibinakan dalam projek ini tergolong dalam kategori ini.

Kumpulan yang kedua ialah model dasar boleh ubah. Model dasar boleh ubah pula mempunyai dasar yang berubah terhadap daya-daya hidrodinamik (Hughes 1993).

2.3.2 Model Fizikal dan Tujuannya

Secara umumnya, model fizikal merupakan suatu sistem fizikal yang dibina semula (biasanya dengan saiz yang lebih kecil) supaya daya yang dikenakan ke atas sistem sebenar (prototaip) dapat diwakili oleh sistem model dalam skala yang betul.

Svendsen (1985) telah memberikan tiga tujuan utama menjalankan kajian melalui model fizikal. Yang pertama, model fizikal digunakan untuk mendapatkan satu gambaran secara kualitatif tentang fenomena yang belum dapat difahami. Kedua, model fizikal juga digunakan untuk mendapatkan pengukuran bagi membuktikan kebenaran sesuatu teori yang dikemukakan. Yang ketiga, ia digunakan untuk mendapatkan ukuran yang begitu rumit, sehingga belum dapat ditentukkan secara pendekatan teori.

2.3.3 Kebaikan dan Keburukan Model Fizikal

Pemodelan fizikal biasanya diusahakan dalam dimensi yang lebih kecil berbanding dengan medan sebenar. Dalrymple (1985) menyatakan bahawa ini telah membenarkan data dikumpulkan dengan lebih mudah berbanding dengan pengukuran medan. Disebabkan dimensinya yang kecil dan peralatan yang lebih ringkas, kos pembinaannya adalah murah. Selain daripada itu, ia lebih mudah dikaji dan tidak rumit seperti keadaan (medan) sebenar. Keadaan pada model boleh dikawal dan sistem boleh diubah mengikut kesesuaian kajian (Kamphuis, 1991). Darjah pengawalan yang tinggi pada parameter yang ingin ditetapkan memudahkan kajian dilakukan.

Model fizikal juga dapat memberikan gambaran secara kualitatif dengan serta-merta mengenai keadaan fizikal dan kelakuan sesuatu gelombang. Bentuk gelombang dapat dicerapkan serta-merta tanpa stimulasi yang selanjutnya.

Dalrymple (1991) menyatakan bahawa berbanding dengan model numerikal, model fizikal tidak perlu menetapkan banyak anggapan dalam menjanakan

persamaan yang berkenaan dengan sifat gelombang. Sifat yang tak linear dalam persamaan gerakan gelombang merumitkan pendekatan numerikal. Adakalanya model fizikal digunakan bersama dengan model numerikal di mana keputusan kompleks yang diperolehi daripada model fizikal digunakan sebagai input model numerikal seperti dalam model hibrid. Model fizikal juga bertindak sebagai kaliberasi berulang bagi model numerikal.

Walaupun pengukuran medan memberikan data yang terbaik iaitu data yang sebenar mengenai keadaan sebenar, namun pengajiannya melibatkan pembiayaan yang tinggi. Dalam medan sebenar, selalunya terdapat terlalu banyak pembolehubah yang menyebabkan tafsiran terhadap sesuatu keadaan susah. Tambahan lagi, keadaan medan terletak di luar kawalan pengkaji. Ini telah menyebabkan ukuran medan yang berterusan (berulangan) sukar diperolehi kerana sifat medan berubah dari masa ke semasa.

Walau bagaimanapun, terdapat juga keburukan dan masalah yang dihadapi semasa menggunakan model fizikal. Yang paling ketara ialah kesan skala. Ia berlaku pada model yang saiznya lebih kecil daripada prototaip apabila terdapat pembolehubah yang berkenaan gagal disimulasikan. Yang kedua ialah kesan makmal (laboratory effect). Kesan ini akan mengakibatkan penyimpangan dalam keputusan daripada prototaip apabila gagal dalam mewujudkan keadaan yang sebenar seperti dalam prototaip.

Sesungguhnya rekabentuk dan faktor-faktor luaran dipertimbangkan dengan teliti dalam mewujudkan keadaan seperti dalam medan, kadang kala tidak semua keadaan diambil kira dalam model. Ini telah menyebabkan wujudnya keputusan kajian berbeza dengan keputusan medan yang diingini. Secara perbandingan, model fizikal adalah lebih mahal daripada model numerikal dan memerlukan pengetahuan mekanikal yang luas untuk pembinaan model.

2.4 Kaedah Penentuan Skala

2.4.1 Analisis dimensi

Dalam menganalisis sesuatu fenomena fizikal, terdapat banyak pembolehubah fizikal dan parameter geometri yang mempengaruhi fenomena tersebut. Semua parameter ini perlu dipertimbangkan dan diambilkira dalam analisis tersebut. Analisis dimensi merupakan satu kaedah yang digunakan untuk menggabungkan pembolehubah fizikal kepada parameter tak berdimensi supaya dapat mengurangkan bilangan pembolehubah yang perlu dipertimbangkan dalam pembinaan model serta pengukuran (Langhaar, 1951). Dengan demikian, bilangan eksperimen yang perlu dijalankan untuk menentukan suatu parameter dapat dikurangkan (Hughes, 1993).

Semua persamaan sama ada yang digunakan atau yang diterbitkan dalam analisis dimensi perlu memenuhi prinsip kehomogenan dimensa. Syarat prinsip kehomogenan dimensa ialah setiap rangkap dalam persamaan tersebut mempunyai dimensa yang sama. Persamaan yang homogen dimensa tidak mempunyai pemalar yang berdimensi atau dengan perkataan yang lain, pemalar dalam persamaan yang homogen dimensa merupakan parameter yang tidak berdimensi (dimensionless products).

Analisis dimensi boleh dilakukan dengan dua cara iaitu cara Indeks Rayleigh dan cara Buckingham- π . Melalui cara ini, kumpulan parameter fizik yang tidak berdimensi boleh didapati. Hughes (1993) menyatakan bahawa parameter-parameter ini boleh digunakan sebagai asas bagi rekabentuk model yang berskala. Selain daripada itu, graf yang menggunakan parameter tidak berdimensi boleh merangkumi banyak parameter fizik yang terlibat dalam sesuatu sistem.

Antara parameter-parameter ini, yang lebih kerap digunakan adalah seperti nombor Reynolds $Re = VL/\nu = \rho VL/\mu$, nombor Froude $Fr = V/(gL)^{1/2}$, nombor Euler $Eu = F/\rho V^2 L^2 = p/\rho V^2$ dan nombor Weber $We = \rho V^2 L/\sigma$.

2.4.2 Hukum keserupaan

Tujuan utama model fizikal adalah mewujudkan suatu model yang berkelakuan seperti prototaip yang ingin diwakili. Oleh itu, model fizikal perlu diskalakan dengan teliti supaya model dapat mencapai tujuan tersebut. Keserupaan akan dicapai apabila keadaan di mana semua skala parameter bagi model dan prototaip adalah sama.

Secara umumnya terdapat tiga syarat keserupaan yang perlu dipenuhi agar hasil ujikaji model sah untuk prototaip iaitu keserupaan geometri, keserupaan kinematik dan keserupaan dinamik. Bagi mendapatkan keserupaan, faktor skala digunakan. Faktor skala merupakan nisbah parameter dalam prototaip kepada parameter yang sama dalam model dan ia mestilah sama di seluruh sistem. Faktor skala bagi parameter X diberikan sebagai $N_x = \frac{X_p}{X_m}$ (2.15)

Dalam analisa dimensi, terdapat beberapa kriteria yang khusus dan perlu dipertimbangkan dalam menentukan skala model-prototaip yang ingin dipilih. Kriteria-kriteria ini ditunjukkan dalam Jadual 2.2 bersamaan dengan persamaan yang berkenaan serta parameter yang mempengaruhi keadaan di mana kriteria ini menjadi penting.

Jadual 2.2 : Kriteria hidrolis

Kriteria	Persamaan	Parameter Dominan
Froude	$\frac{V}{\sqrt{gL}}$	Daya graviti
Reynolds	$\frac{\rho LV}{\mu}$	Kelikatan
Weber	$\frac{gV^2L}{\sigma}$	Tegangan permukaan
Euler	$\frac{p}{\rho V^2}$	Daya tekanan
Cauchy	$\frac{\rho V^2}{E}$	Daya mampatan

Secara praktikal, daya yang disebabkan oleh tegangan permukaan dan daya mampatan adalah kecil sehingga boleh diabaikan. Dengan ini, hanya daya graviti dan kelikatan perlu dipertimbangkan dalam memilih skala bagi sesuatu model. Kriteria Froude dipilih dalam projek ini kerana daya graviti dianggap dominan dalam aliran permukaan bebas.

Skala yang digunakan ialah 1: 49. Nisbah ini dipilih kerana kriteria Froude diberikan sebagai $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ (2.16)

Nombor Froude mesti sama bagi prototaip dan model, iaitu

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad (2.17)$$

maka akan diperolehi

$$N_v = \frac{N_t}{N_l} = \sqrt{N_g N_l}$$

dan seterusnya

$$N_l = \sqrt{N_t} \quad (2.18)$$

Bagi memudahkan pengiraan, skala yang mempunyai punca kuasa dua nombor bulat dipilih seperti 49 supaya

$$N_t = \frac{t_p}{t_m} = 7 \quad \text{dan} \quad N_l = \frac{L_p}{L_m} = 49 \quad (2.19a \text{ dan } b)$$

2.5 Penjanaan Gelombang

2.5.1 Pengenalan

Dalam sesuatu model, penjanaan gelombang memainkan peranan yang sangat penting. Gelombang yang dijanakan perlu dapat mewakili ombak dalam keadaan sebenar. Dalam keadaan sebenar, terdapat pelbagai punca terhasilnya gelombang seperti pergerakan udara (angin), gerakan objek atas permukaan air, gerakan bentuk muka bumi (gempa bumi) dan sebagainya.

Dalam model, gelombang juga dapat dihasilkan dengan banyak kaedah buatan manusia. Terdapat gelombang yang dijanakan oleh angin atau pergerakan udara tetapi saluran perlu ditutup dan cukup panjang untuk menghasilkan gelombang seperti ini. Oleh itu, adalah lebih praktikal dalam model fizikal yang terbuka jika dijanakan secara mekanik.

Gelombang air dapat dihasilkan oleh ayunan suatu jasad yang bergerak dalam saluran air. Biasanya suatu pengayuh diayunkan dalam saluran air. Penjana gelombang yang awal berupaya menjanakan gelombang berbentuk sinusoidal dengan menggunakan pengayuh yang digerakkan secara sinusoidal oleh motor elektrik. Kini, sistem servo hidrolik telah menggantikan motor elektrik dalam membekalkan gerakan pengayuh kerana sistem ini membolehkan ahli kajian dan jurutera mengawal gerakan pengayuh dengan lebih baik. Akan tetapi, motor elektrik masih digunakan dalam sistem penjana bagi kajian berskala kecil dalam makmal.

2.5.2 Teori Penjanaan Gelombang

Teori umum mengenai penjanaan gelombang secara mekanik telah dibentangkan oleh Havelock (1929) dan kertas kerja beliau telah menjadi asas bagi teori-teori penjana gelombang yang seterusnya. Selain daripada itu, Biéssel dan Suquet telah menjalankan kajian secara teori terhadap penjanaan gelombang oleh panjana jenis piston dan jenis flap serta menghasilkan artikel tentang teori-teori ini pada 1951 dan 1952.

Terdapat pelbagai jenis gelombang yang dapat dijanakan dalam makmal, antaranya ialah gelombang linear, gelombang tak linear, gelombang tunggal (solitary waves) dan sebagainya. Setiap jenis penjanaan gelombang mempunyai pendekatannya dalam teori-teori penjanaan yang diterbitkan daripada persamaan penjanaan umum.

Sistem penjanaan yang dibinakan dalam projek ini bertujuan untuk menjanakan gelombang linear. Dalam menyelesaikan masalah penjanaan

gelombang dua dimensi, Teori Linear Gelombang Air digunakan sebagai pendekatan asas di mana anggapan dan syarat sempadan dipatuhi, iaitu persamaan Laplace (2.8)

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

keadaan syarat sempadan bebas kinematik dan syarat sempadan bebas dinamik

$$\eta = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \text{dan} \quad -\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad \text{pada } z=0 \quad (2.20a \text{ dan } b)$$

dan keadaan sempadan dasar

$$-\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{pada } z=-h \quad (2.21)$$

serta keadaan sempadan sisi

$$u(0, z, t) = \frac{S(z)}{2} \omega \cos \omega t \quad (2.22)$$

Daripada penyelesaian persamaan teori penjana, akan mendapat suatu nisbah ketinggian gelombang kepada jarak ayunan (wave height-to-stroke ratio).

Untuk penjana jenis piston,

$$\frac{H}{S} = \frac{4 \sinh^2 kh}{\sinh 2kh + 2kh} \quad (2.23)$$

Untuk penjana jenis flap,

$$\frac{H}{S} = \frac{4 \sinh kh}{\sinh 2kh + 2kh} \left[\sinh kh + \frac{(1 - \cosh kh)}{kh} \right] \quad (2.24)$$

2.6 Pengukuran

Pemerhatian pada model fizikal adalah penting kerana ia memberikan gambaran yang menyeluruh kepada pengkaji. Namun begitu, adalah tidak bermakna jika hanya pemerhatian dicerap tanpa pengukuran mengenai sifat gelombang yang boleh dipercayai. Oleh itu, pengukuran adalah penting bagi menentukan sifat serta keadaan gelombang.

Pengukuran dalam makmal iaitu menggunakan model boleh dikategorikan dalam beberapa kumpulan pengukuran, seperti pengukuran geometri, pengukuran sifat bendalir, pengukuran gerakan bendalir, pengukuran daya dan pengukuran keadaan sekitar yang lain (Hughes 1993).

Pengukuran paras air tenang dan perubahan permukaan air (gelombang) merupakan pengukuran geometri. Pengukuran perubahan permukaan air juga dikenali sebagai pengukuran gelombang. Dalam projek ini, pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran jenis ini yang memberikan gambaran secara geometri tentang bentuk gelombang air yang terhasil.

Sifat bendalir yang biasanya diukur ialah suhu bendalir, ketumpatan, kelikatan dan ketegangan permukaan air. Halaju bendalir, tempoh atau frekuensi gelombang, tekanan bendalir pula tergolong dalam kumpulan pengukuran gerakan bendalir. Daya gelombang ke atas struktur dan getaran dikelaskan sebagai pengukuran daya manakala halaju angin (kesannya terhadap permukaan air) dan kelembapan merupakan pengukuran keadaan sekitar.

Pengukuran memerlukan peralatan yang sesuai. Jenis peralatan yang digunakan adalah berdasarkan jenis pengukuran yang ingin dilakukan. Biasanya instrumen terdiri daripada dua komponen penting, iaitu sensor (atau transduser) yang menukarkan kuantiti fizik yang dicerap kepada isyarat yang boleh dirakam, serta unit rakaman (atau rekoder) yang mampu merekodkan pengukuran yang dibuat. Komponen sampingan adalah seperti penguat isyarat dan juga penapis yang dapat menguatkan isyarat dan mengurangkan hingar supaya isyarat penting tidak dikacau.

Kebanyakan sensor berfungsi dengan mengukur kuantiti fizik yang dapat dihubungkan dengan kuantiti yang ingin dikumpulkan oleh pengkaji. Pengukuran gelombang dilakukan dengan menggunakan alat yang dikenali sebagai tolok gelombang. Tolok yang paling biasa digunakan ialah tolok gelombang jenis rintangan dan tolok jenis kapasitans.

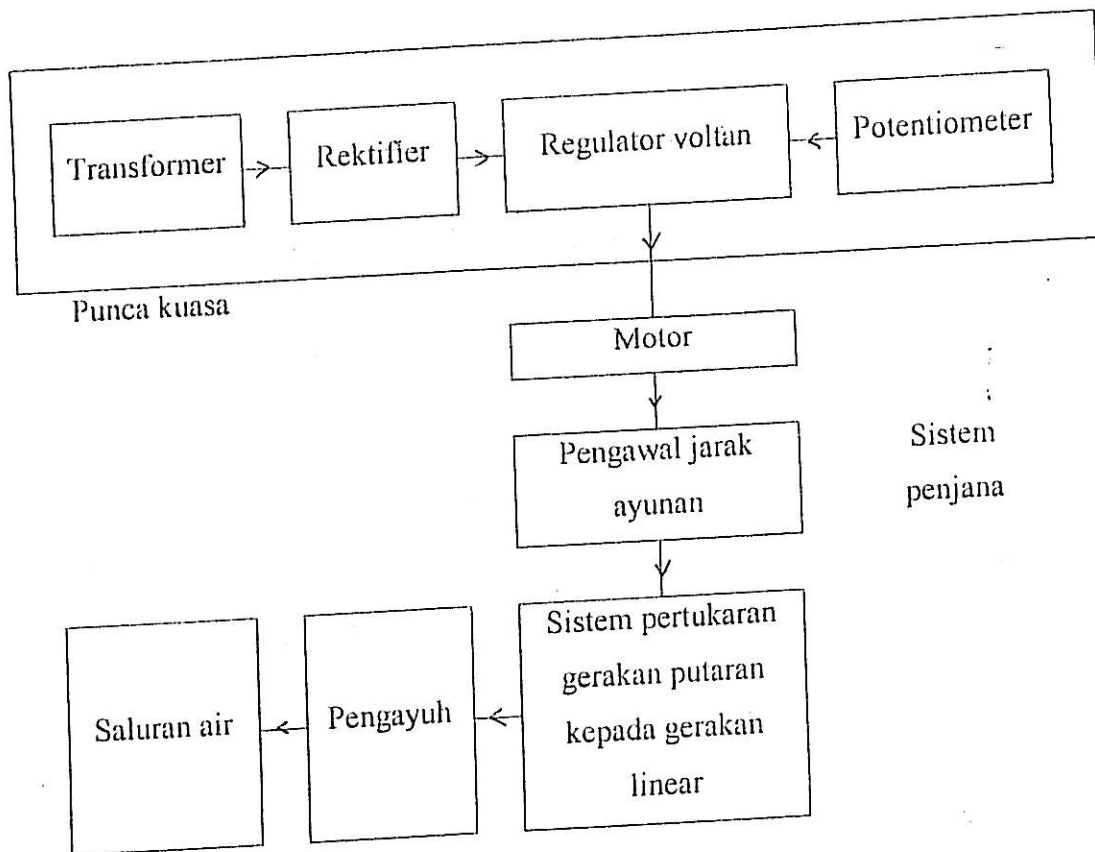
BAB III

PEMBINAAN SISTEM PENJANA GELOMBANG DAN PENGUJIAN GELOMBANG

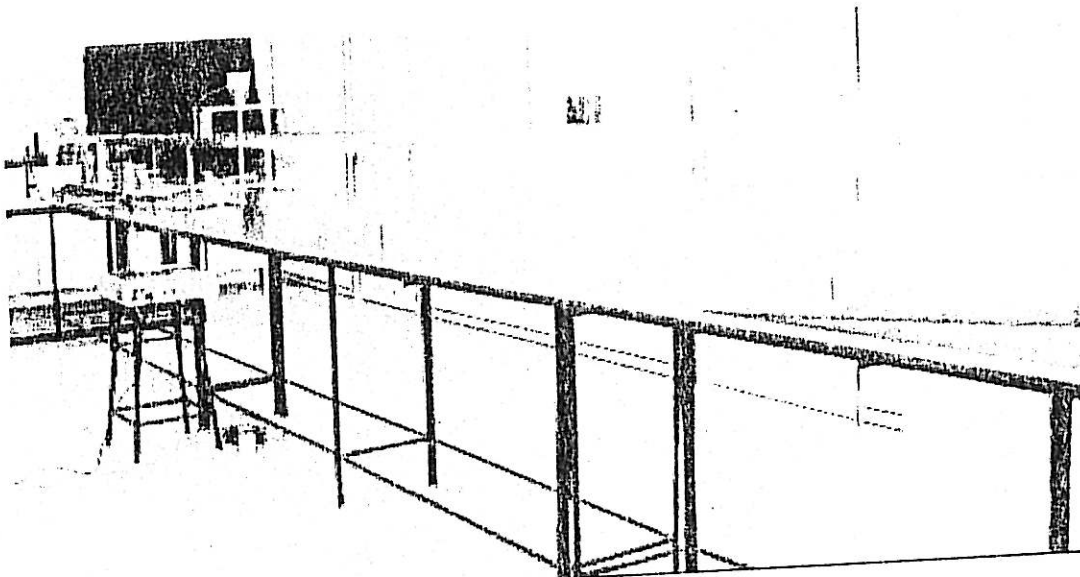
3.1 Sistem Penjana Gelombang Air

Untuk melakukan kajian secara fizikal tentang gelombang air di dalam makmal, satu model fizikal yang terdiri daripada sistem penjana gelombang serta komponen model yang lain perlu dibina mengikut keperluan kajian. Dalam projek ini, model yang dibina adalah model jenis dasar tetap dan bertujuan untuk menghasilkan gelombang linear.

Sistem penjana gelombang air yang dibina boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu sistem punca kuasa dan sistem penjana. Sistem punca kuasa meliputi komponen-komponen dan litar elektronik. Ia digunakan untuk mengawal laju gerakan pengayuh. Sistem penjana pula merangkumi motor, pengawal jarak ayunan, sistem pertukaran gerakan putaran motor kepada gerakan linear pengayuh, dua jenis pengayuh, saluran air dan penyerap gelombang. Gambaran tentang keseluruhan sistem penjana yang dibina ditunjukkan dalam Rajah 3.1. Rajah 3.2 pula menunjukkan sistem penjana sebenar yang dibina.



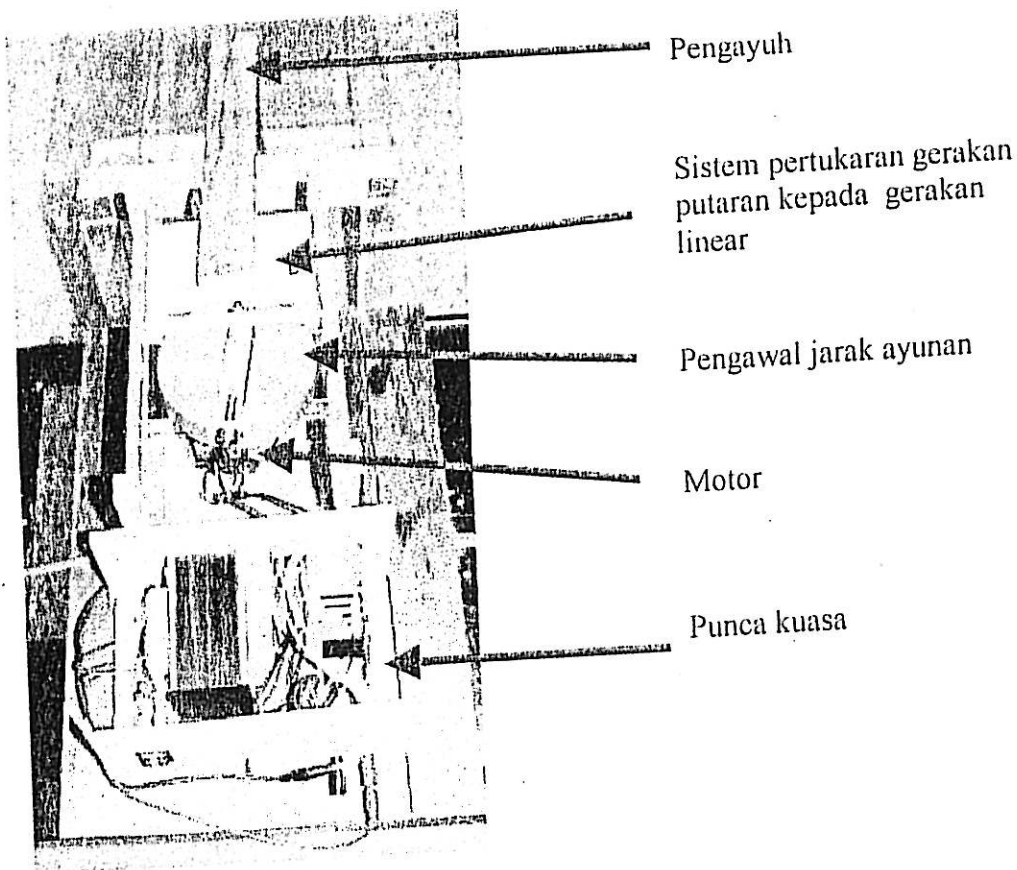
Rajah 3.1 : Keseluruhan sistem penjana gelombang air



Rajah 3.2 : Seluruh sistem penjana gelombang air

3.1.1 Punca Kuasa

Satu sistem punca kuasa boleh ubah dibina untuk mengubah punca kuasa arus ulang alik (AC 230 volt) kepada arus terus. Rajah 3.3 menunjukkan pandangan atas punca kuasa serta sistem penjana.



Rajah 3.3 : Punca kuasa dan sistem penjana

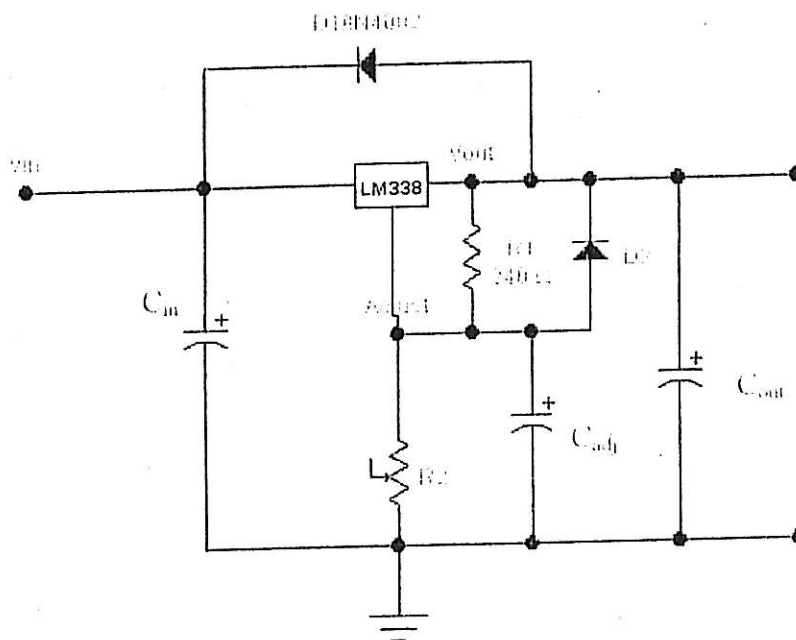
Terdapat beberapa peranti yang digunakan untuk membina punca kuasa boleh ubah tersebut. Transformer telah digunakan untuk mengubah voltan masuk daripada 230 volt kepada 15 volt. Arus yang melalui transformer adalah lebih kurang 6 Ampere. Kemudian rektifier jejantas penuh digunakan untuk mengubah input voltan arus ulang alik kepada output voltan arus terus.

Satu litar regulator voltan boleh ubah atau amplifler arus terus dengan tujuan mengubah voltan output kepada nilai yang dihendaki telah dibina. Dengan ini, laju putaran motor dapat dikawal dan seterusnya frekuensi gerakan pengayuh dapt dikawal. Litar regulator ditunjukkan dalam Rajah 3.4.

Litar mengandungi beberapa komponen dengan fungsi tertentu masing-masing. Cip litar setara yang digunakan ialah LM338. Terdapat dua diod IN4002 yang bertindak sebagai diod pelindung untuk mengelakkan kapasitor luaran (external) daripada dinyacas ke regulator. Diod juga berfungsi untuk melindungi potentiometer (perintang boleh ubah).

Tiga kapasitor disambungkan dalam litar. C_{in} mempunyai kapasitans 2200 μF untuk mengurangkan kepekaan pada impedans input. C_{adj} pula bernilai 10 μF untuk mengelakkan ripple daripada diamplifikasikan apabila voltan output meningkat manakala C_{out} yang bernilai 50 μF adalah untuk memastikan kestabilan voltan output.

Perintang digunakan untuk melindungi diod. Potentiometer yang digunakan merupakan perintang boleh ubah. Perubahan pada rintangan memberikan perubahan pada voltan output dan dengan ini membolehkan pengawalan ke atas voltan output.

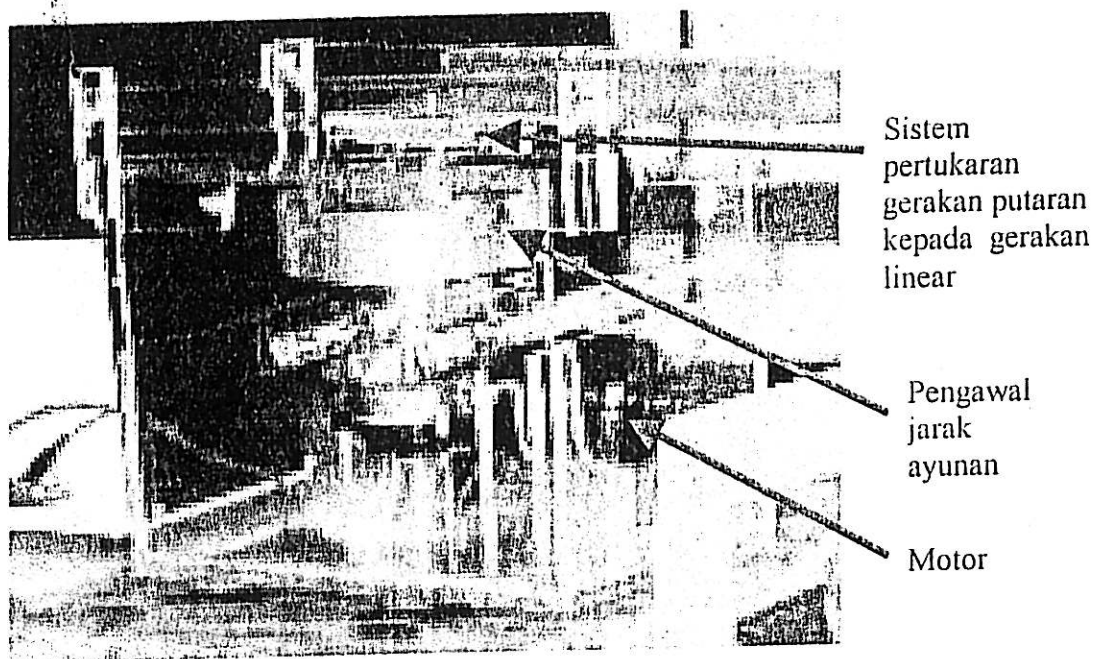


Rajah 3.4 : Litar regulator voltan boleh ubah

3.1.2 Sistem Penjana

3.1.2.1 Motor

Motor elektrik merupakan punca gerakan pengayuh dalam sistem penjana yang dibina. Motor yang digunakan merupakan motor elektrik jenis arus terus yang digunakan dalam pengelap cermin kereta. Arus sebesar 4 A dan voltan 1.2 v memadai untuk menggerakkan pengayuh. Rajah 3.5 menunjukkan kedudukan dan peranan motor dalam sistem penjana manakala Rajah 3.9 memberikan pandangan yang lebih jelas mengenai motor serta sistem penjana yang telah dibuka.

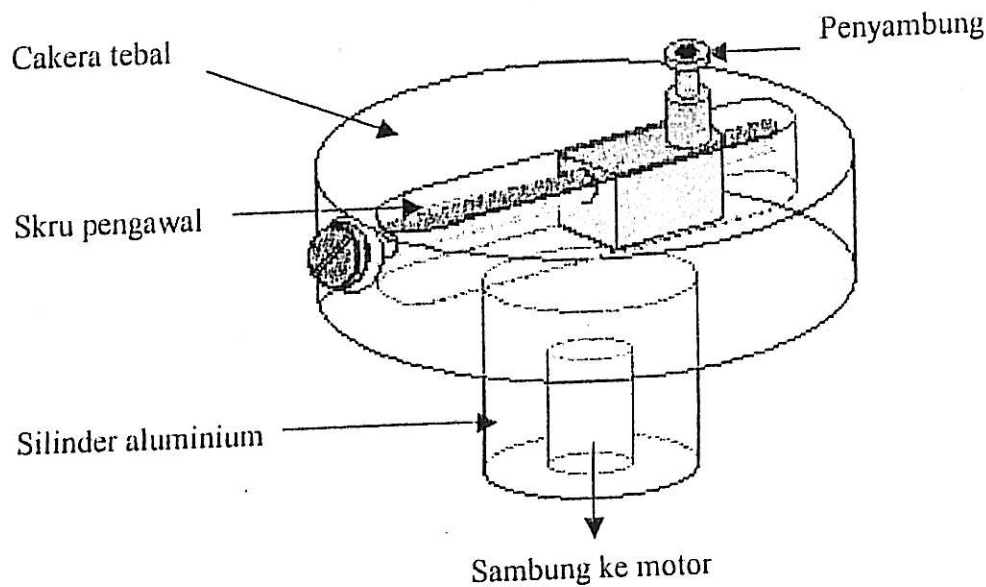


Rajah 3.5 : Sistem penjana

3.1.2.2 Pengawal Jarak Ayunan

Pengawal jarak ayunan merupakan satu komponen yang penting bagi menentukan jarak ayunan (stroke) pengayuh dan seterusnya menentukan amplitud gelombang yang dihasilkan kerana tinggi gelombang adalah bersamaan dengan jarak ayunan pengayuh.

Binaan pengawal ditunjukkan dalam Rajah 3.6. Pengawal ini diperbuat daripada blok aluminium. Ia diusahakan menjadi bentuk seperti satu cakera tebal disambungkan kepada satu selinder di bawahnya.



Rajah 3.6 : Lakaran pengawal jarak ayunan

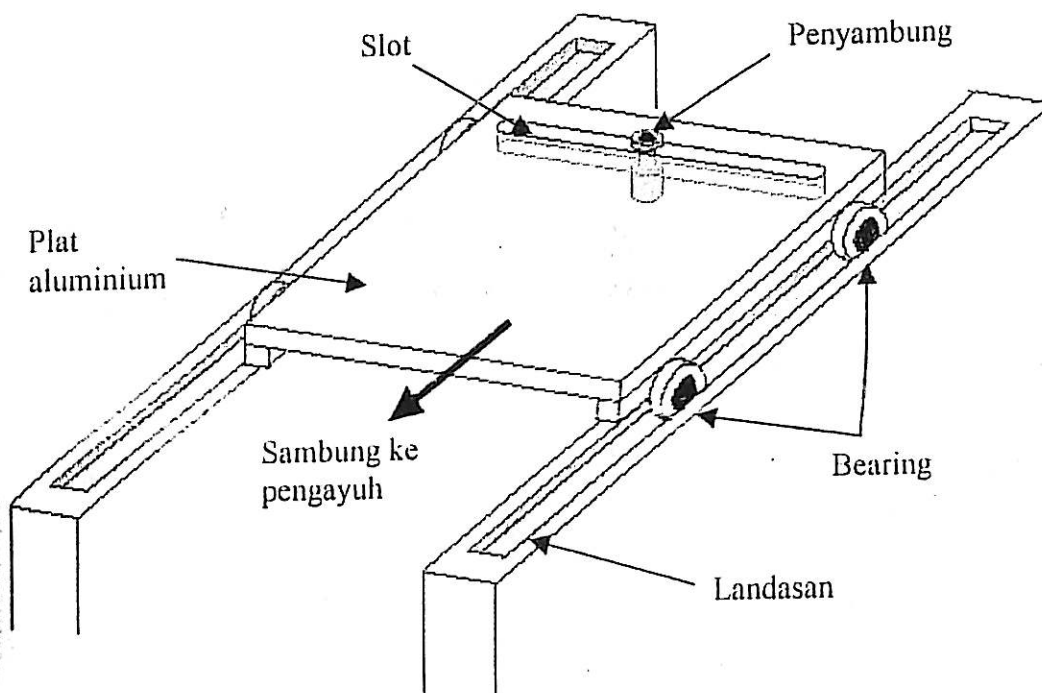
Terdapat satu slot pada diameter (11.6 cm) cakera tebal. Satu skru panjang ditetapkan secara melintang di tengah-tengah slot. Di tengah-tengah slot pula terletak satu blok aluminium (penyambung) di mana skru panjang merentas melaluinya. Kedudukan penyambung dalam slot ditentukan dengan memutar skru. Kedudukan penyambung pada slot ini akan menentukan jarak ayunan pengayuh. Cakera tebal aluminium ini dibuat sedemikian supaya jarak ayunan pengayuh dapat diubah-ubah mengikut kehendak pengkaji.

Silinder aluminium di bawah cakera tebal disambung kepada motor dengan mengeskrukan silinder kepada bahagian motor yang memutar. Dengan demikian, pengawal jarak ayunan berkedudukan di atas motor. Apabila motor dihidupkan, pengawal jarak ayunan berputar mengikut gerakan putaran motor.

3.1.2.3 Sistem Pertukaran Gerakan Putaran ke Gerakan Linear

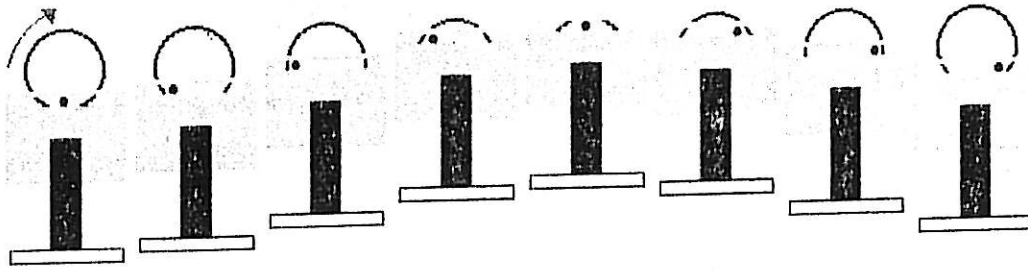
Motor dan pengawal jarak ayunan bergerak secara putaran tetapi pengayuh dikehendaki bergerak secara linear dalam saluran air. Maka, satu sistem dibina untuk menukarkan gerakan putaran tersebut kepada gerakan linear. Sistem ini juga bertindak untuk menyambungkan pengawal jarak ayunan dengan pengayuh. Ilustrasinya ditunjukkan dalam Rajah 3.7. Komponen sebenar dapat dilihat dalam Rajah 3.9. Sistem pertukaran gerakan ini direkabentuk sedemikian untuk menghasilkan gelombang yang sinusoidal sempurna.

Sistem ini terdiri daripada sekeping plat aluminium, bearing dan landasan. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.7, satu slot dibuat pada plat. Di atas blok aluminium pada pengawal jarak ayunan terdapat satu penyambung. Penyambung ini disambungkan pada plat aluminium melalui slot ini dengan skru. Bearing pada penyambung melicinkan sambungannya dengan plat. Satu bearing dipasang di setiap penjuru plat dan bearing akan bergerak di atas landasan supaya plat aluminium bergerak dengan baik.



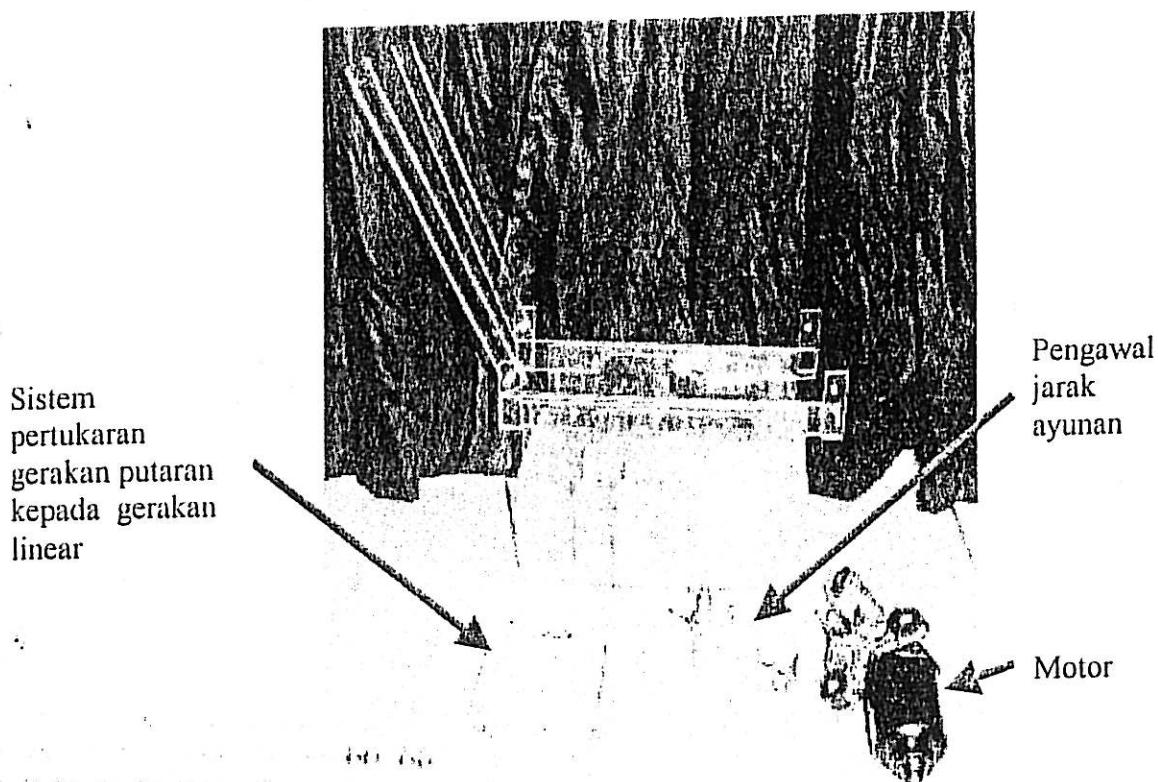
Rajah 3.7 : Lakaran sistem pertukaran gerakan putaran kepada gerakan linear

Pergerakan sistem petukaran mengikut gerakan putaran pengawal jarak ayunan dapat diilustrasikan oleh Rajah 3.8.



Rajah 3.8 : Pergerakan sistem petukaran mengikut gerakan putaran pengawal jarak ayunan

Apabila motor dihidupkan, pengawal jarak ayunan akan berputar mengikut motor. Penyambung padanya akan bergerak secara kiri-kanan dalam slot plat aluminium. Pada masa yang sama, seluruh plat bergerak secara depan-belakang atas landasan. Pengayuh yang disambungkan pada plat turut bergerak secara linear. Melalui sistem sebegini, gerakan putaran motor (pengawal jarak ayunan) ditukar kepada gerakan linear pengayuh oleh plat aluminium.

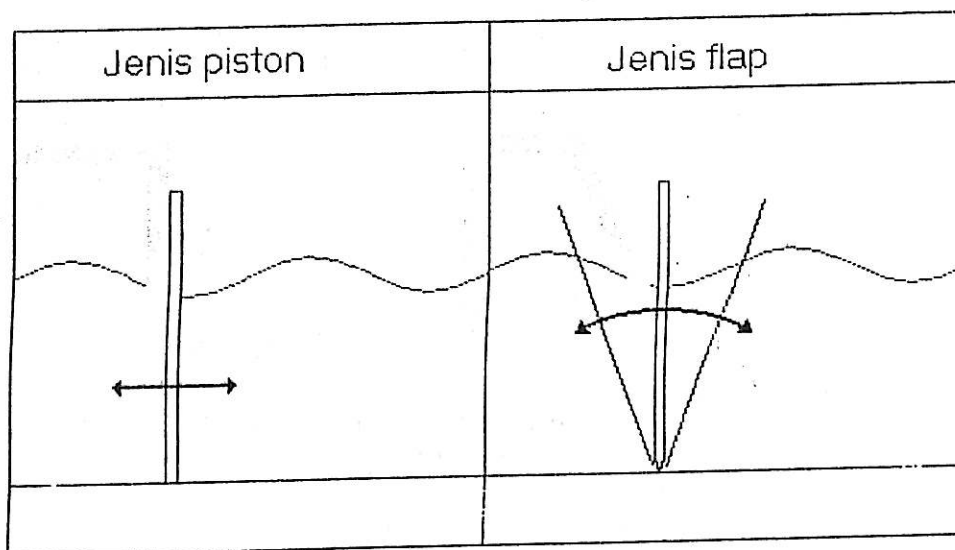


Rajah 3.9: Sistem penjana yang telah dibuka

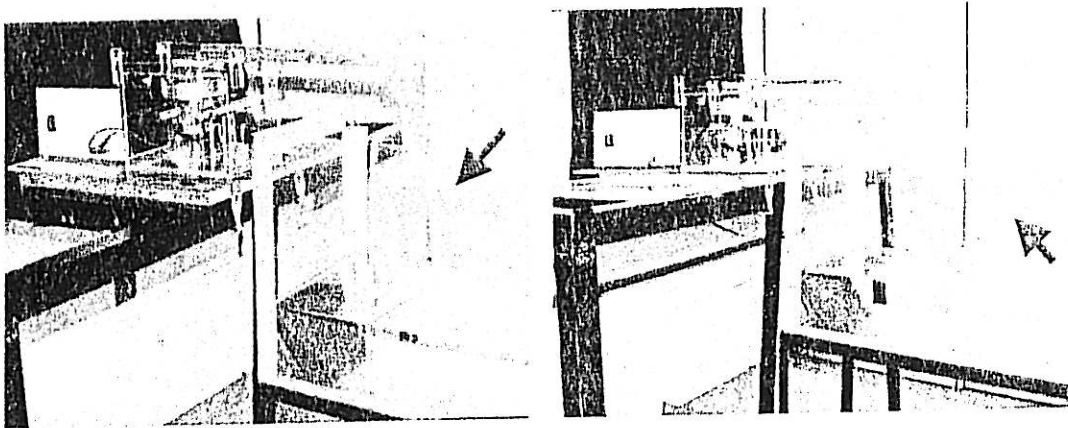
3.1.2.4 Pengayuh

Dua jenis pengayuh telah dibina dalam projek ini, iaitu jenis piston dan jenis flap. Pengayuh disambungkan kepada sistem putaran-linear dengan mengeskrukan lengan pengayuh kepada plat. Dengan ini, dua jenis pengayuh boleh ditukar gantikan mengikut kehendak pengkaji. Pengayuh akan bergerak mengikut gerakan plat aluminium dan menghasilkan ayunan secara linear. Ayunan pengayuh akan menjanakan gelombang sinusoidal dalam saluran air.

Kedua-dua pengayuh diperbuat daripada perspek dengan ketebalan 8 mm, dimensi 0.4 meter x 0.3 meter dan kayu digunakan sebagai lengannya. Lakaran kedua-dua jenis pengayuh ditunjukkan dalam Rajah 3.10 manakala pengayuh sebenar yang dibina ditunjukkan dalam Rajah 3.11. Bagi jenis flap, pengayuh dan lengan disambungkan dengan satu penyambung boleh gerak supaya ia boleh berayun seperti kipas di mana bahagian bawahnya ditetapkan pada satu kedudukan. Pengayuh flap ditetapkan bahagian bawahnya dengan perspek yang dibuat satu lekuk dan plastesin seperti dalam Rajah 3.11 (b).



Rajah 3.10 : Lakaran bagi dua jenis pengayuh iaitu jenis piston dan jenis flap



Rajah 3.11 (a) dan (b) : Pengayuh jenis piston dan jenis flap

3.1.2.5 Saluran Air

Saluran (channel) dibina daripada perspek dengan ketebalan 8 mm dan berdimensi 8.0 meter x 0.3 meter x 0.4 meter. Bar aluminium dirivetkan pada sambungan kepingan perspek dengan kepingan perspek dan penjuru-penjuru untuk memberikan sokongan tambahan pada saluran. Saluran ini diletakkan di atas rak saluran.

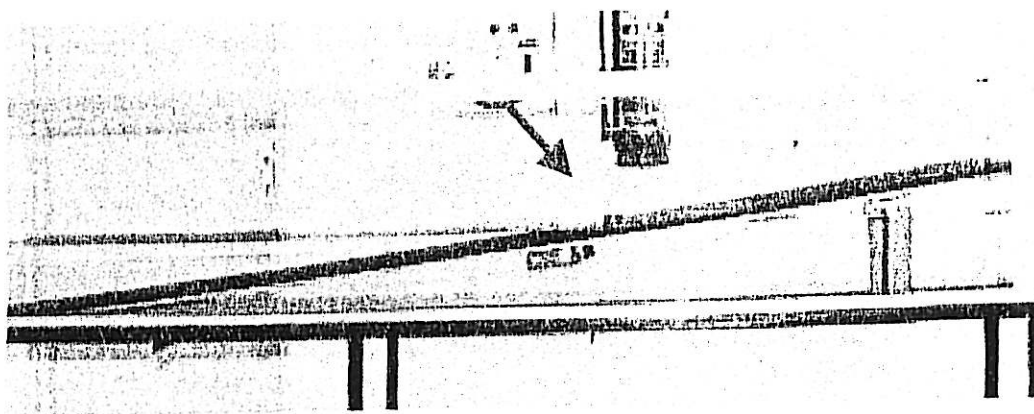
Saluran diisi air dan gelombang dijanakan oleh pengayuh dalam saluran ini. Sistem penjana akan diletakkan di luar saluran untuk mengelakkan getaran pada saluran yang akan mempengaruhi pengukuran apabila menguji gelombang air. Rajah 3.2 menunjukkan saluran air yang dibina.

3.1.2.6 Penyerap Gelombang

Satu penyerap gelombang (wave absorber) yang diperbuat daripada perspek dengan ketebalan 8 mm berbentuk pantai diletakkan pada hujung saluran seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.12. Penyerap gelombang bertujuan untuk menyerap gelombang dari penjana supaya gelombang pantulan dapat dikurangkan

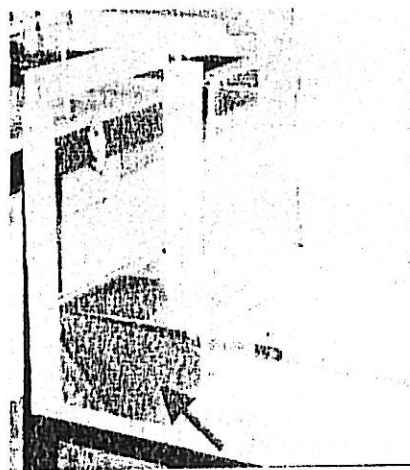
dan meminimumkan kesan superposisi. Pantai dialaskan dengan karpet plastik untuk penyerapan yang lebih berkesan.

Pantai dibuat tidak tetap supaya kecerunan pantai boleh diubah-ubah untuk tujuan kajian lanjutan. Kecerunan pantai yang digunakan dalam pengujian gelombang dalam projek ini bernilai 0.1.



Rajah 3.12 : Penyerap gelombang

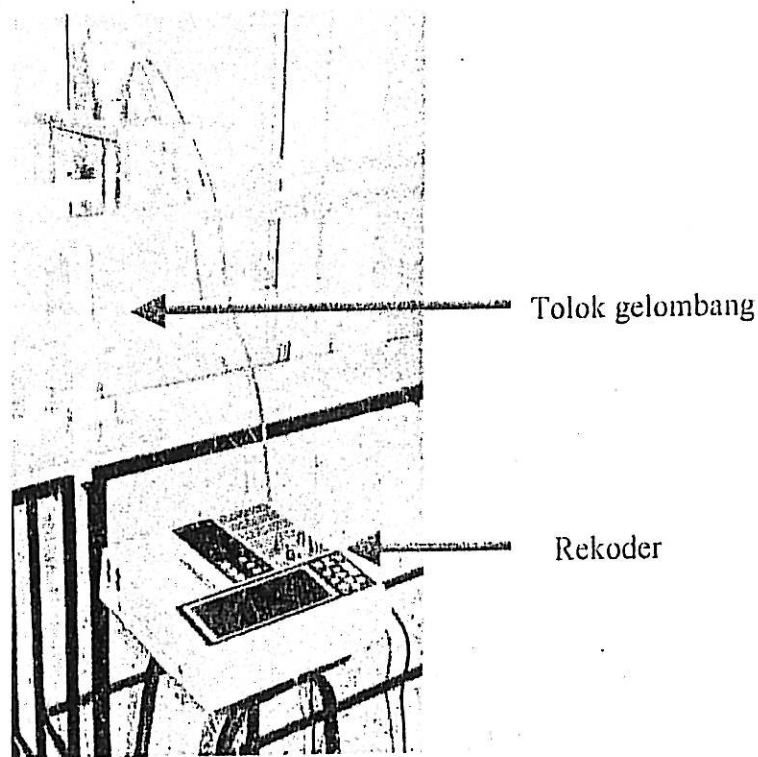
Satu lagi penyerap gelombang yang kecil juga diletakkan pada bahagian belakang pengayuh untuk menyerap gelombang yang dihasilkan oleh pengayuh. Penyerap kecil ditunjukkan dalam Rajah 3.13.



Rajah 3.13 : Penyerap gelombang kecil di belakang pengayuh

3.2 Pengujian Gelombang Air yang Dijanakan

Gelombang air yang dijanakan diuji dengan melakukan pengukuran gelombang iaitu pengukuran perubahan permukaan air. Dengan pengukuran ini, bentuk gelombang yang dijanakan dapat diperhatikan daripada profil gelombang secara serta-merta. Pengujian gelombang air yang dijanakan dilakukan dengan menggunakan sensor yang dikenali sebagai tolok gelombang dan direkodkan dengan sebuah rekoder. Rajah 3.14 menunjukkan tolok gelombang dan rekoder yang digunakan.



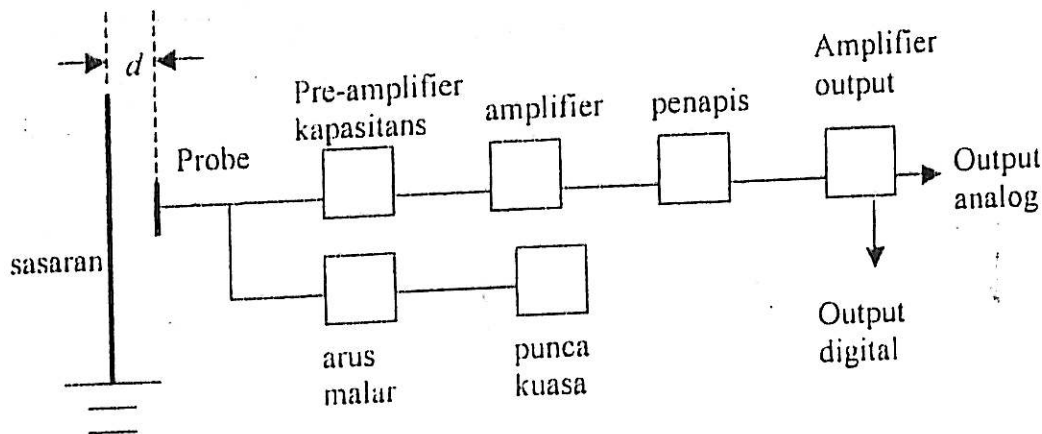
Rajah 3.14 : Sensor dan rekoder yang digunakan untuk pengujian gelombang

3.2.1 Sensor dan Prinsip Kerjanya

Sensor yang digunakan dalam pengujian gelombang ialah tolok gelombang jenis kapasitans. Sensor ini berfungsi dengan mengukur perubahan impedans kapasitans terhadap perubahan jarak d antara permukaan air dengan kepala sensor.

Hubungan ini adalah linear. Perubahan kapasitans diukur dengan litar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.15.

Probe diberikan arus ulang alik yang malar. Jatuhan pada probe dikesan oleh satu pre-amplifier kapasitans rendah. Isyarat daripada pre-amplifier ini kemudiannya dikuatkan oleh amplifier dan seterusnya ditapis oleh penapis untuk mengurangkan hingar sehingga akhirnya membekalkan suatu voltan output yang berhubung dengan perubahan jarak d . Tolok gelombang dapat mengesan voltan yang berlainan pada kedalaman air yang berlainan mengakibatkan suatu perubahan anjakan permukaan air terhadap masa dapat diperolehi dan dapat menghasilkan suatu profil gelombang yang menggambarkan gelombang air yang sebenar.



Rajah 3.15 : Litar elektronik untuk mengukur perubahan kapasitans bagi sensor jenis kapasitans

3.2.2 Rekoder

Tolok gelombang yang digunakan disambungkan kepada satu rekoder model Hioki 8833 di mana bentuk sebenar gelombang yang dijanakan dapat diperhatikan atas skrin LCDnya. Profil-profil gelombang dalam salinan kertas dapat dicetak oleh rekoder sebagai simpanan.

BAB IV

KEPUTUSAN PENGUJIAN DAN PERBINCANGAN

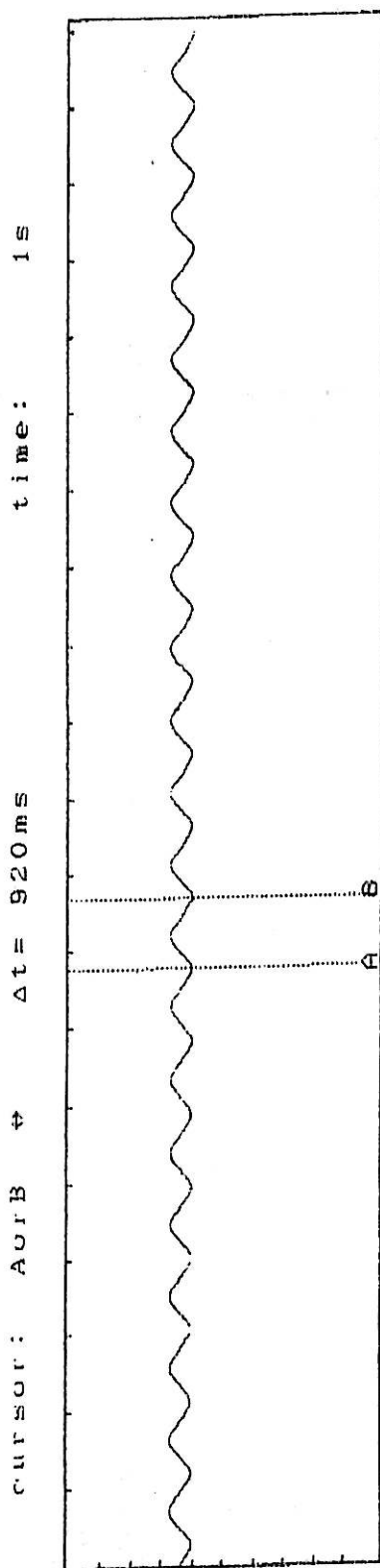
4.1 Profil Gelombang

Profil gelombang merupakan suatu gambaran tentang gelombang sebenar yang diuji. Anjakan permukaan gelombang dari permukaan tenang air telah dikesan oleh sensor kemudian profil gelombang dirakam dan dicetak oleh rekoder. Dalam bab ini, profil-profil gelombang yang dijanakan oleh kedua-dua jenis pengayuh ditunjukkan dan tinggi gelombang bagi profil-profil masing-masing juga dimasukkan.

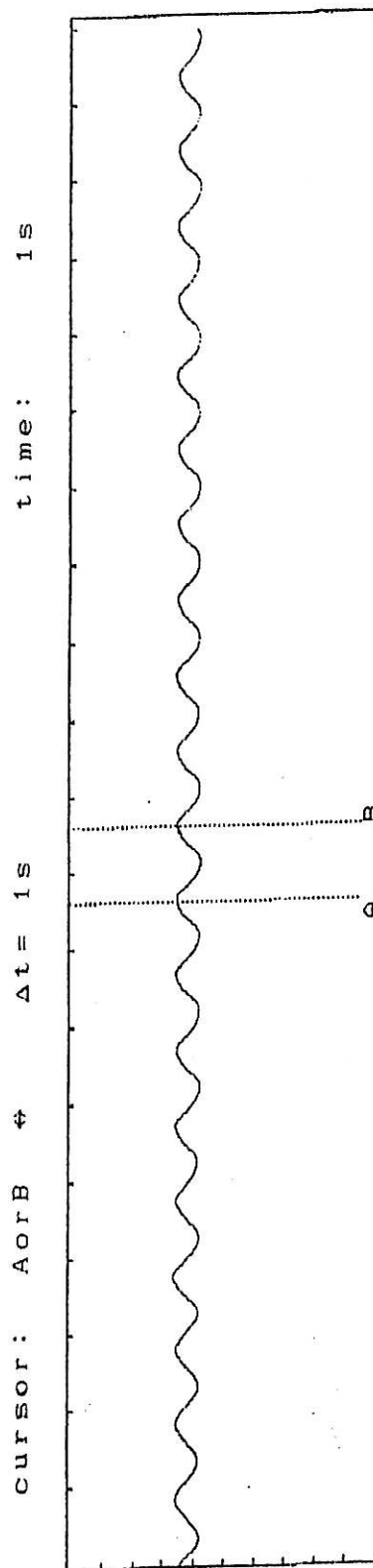
Dalam pengujian gelombang, kedalaman air ditetapkan pada 0.15 meter. Gelombang yang dijanakan bagi beberapa tempoh masa telah diuji dan profil-profil diperolehi. Tinggi gelombang juga diukur melalui rekoder.

Rajah 4.1 hingga Rajah 4.11 merupakan profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh jenis piston manakala Rajah 4.12 hingga Rajah 4.22 adalah profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh jenis flap.

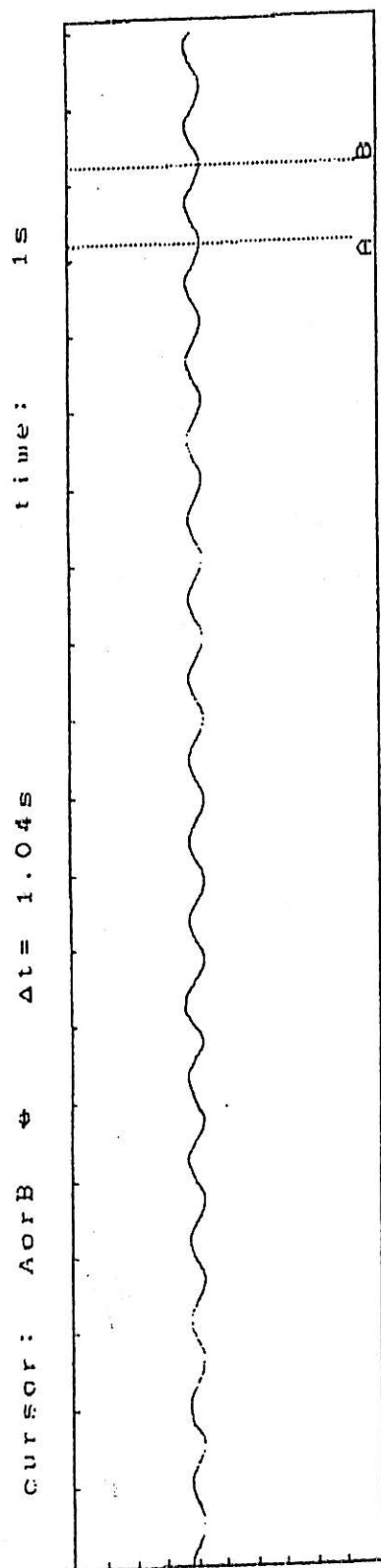
Daripada profil-profil gelombang, didapati bahawa bentuk gelombang yang dijanakan adalah berbentuk sinusoidal.



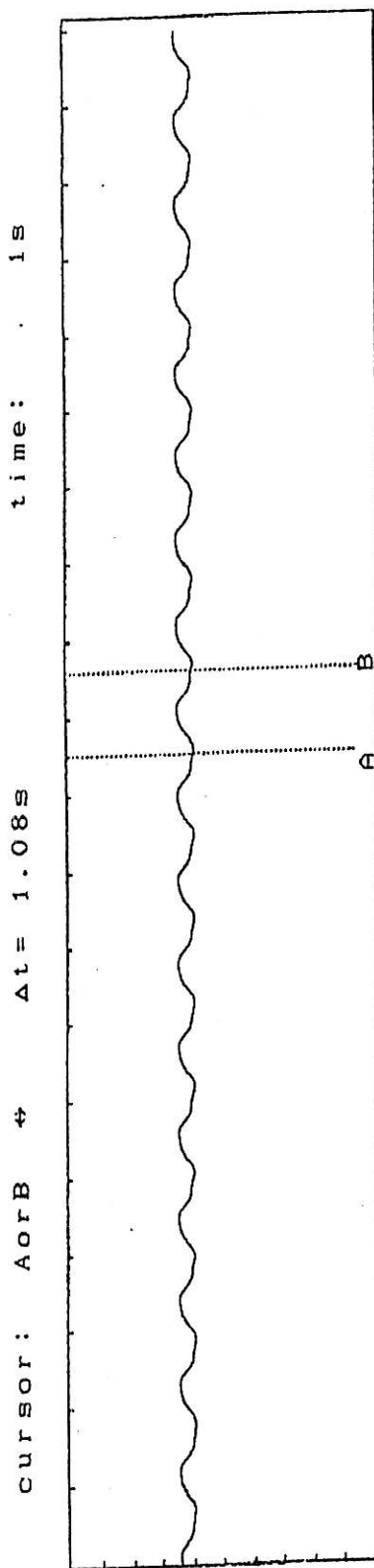
Rajah 4.1 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.0 saat



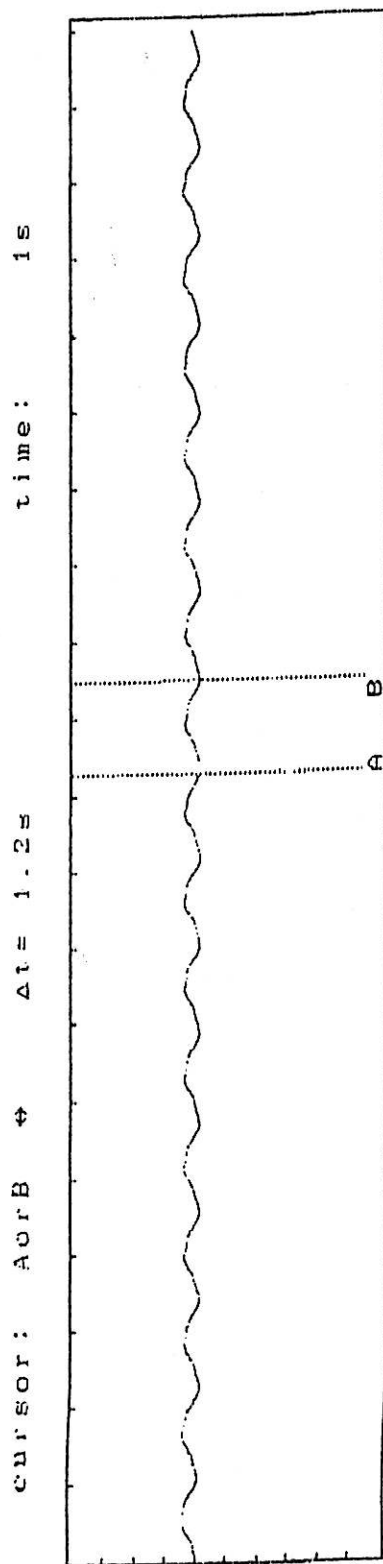
Rajah 4.2 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.1 saat



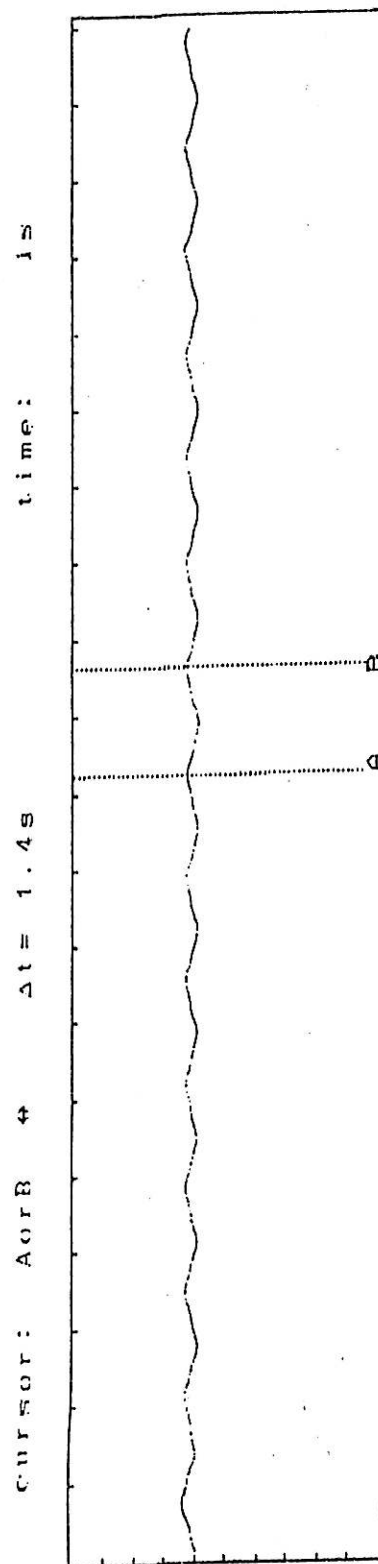
Rajah 4.3 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.2 saat



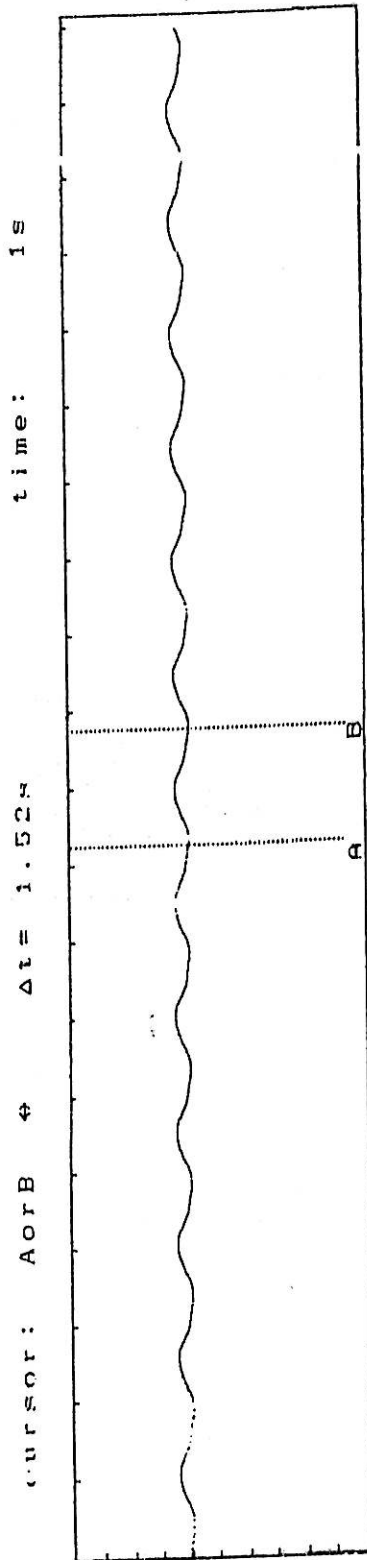
Rajah 4.4 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.3 saat



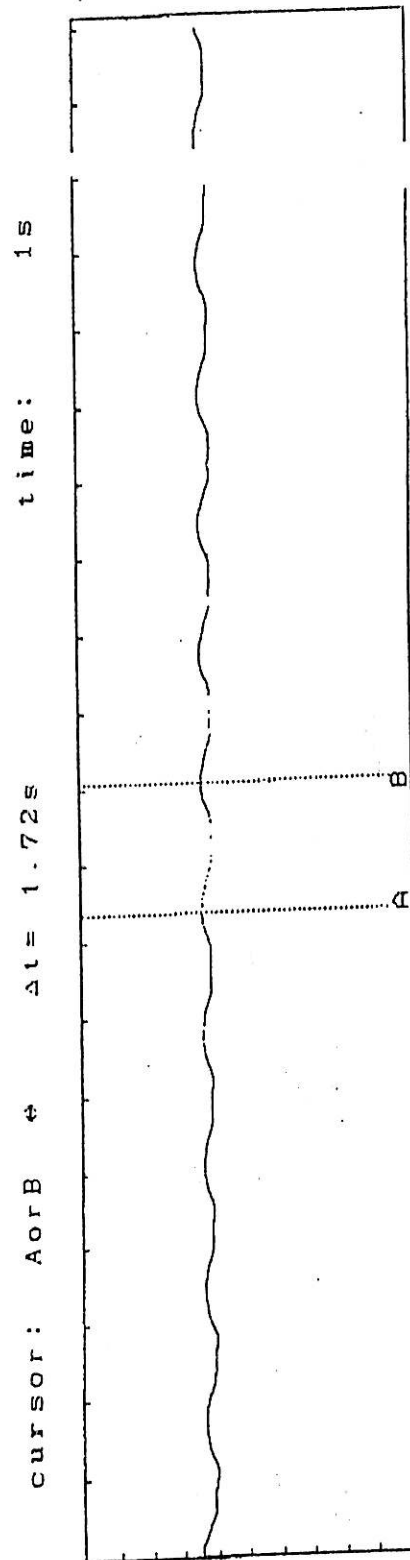
Rajah 4.5 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.4 saat



Rajah 4.6 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.5 saat

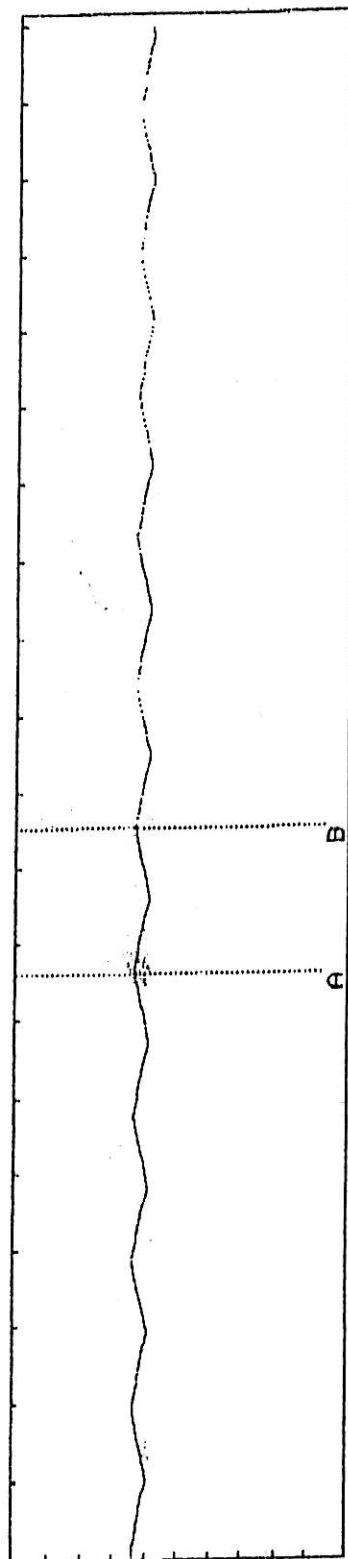


Rajah 4.7 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.6 saat



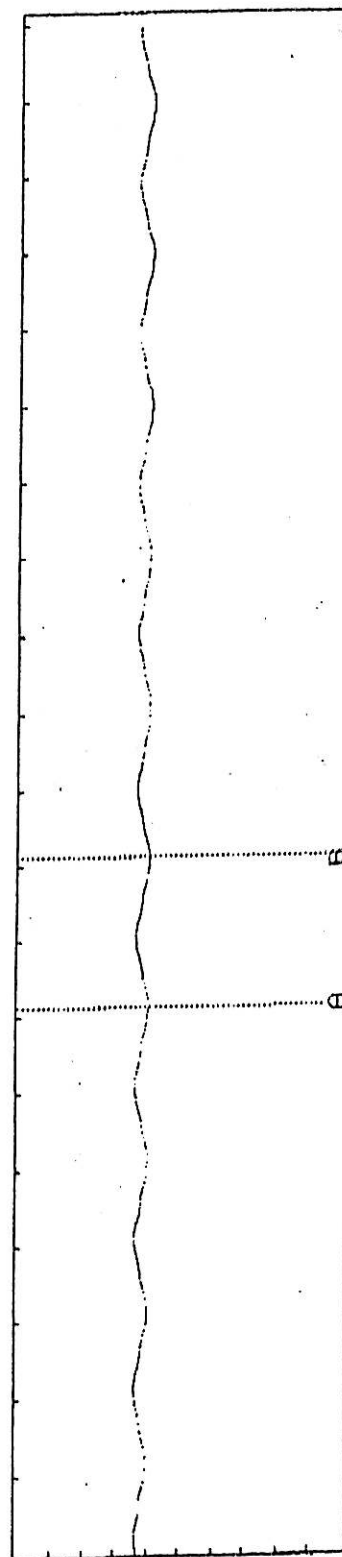
Rajah 4.8 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.7 saat

cursor: AorB ⇄ $\Delta t = 1.92s$ time: 1s

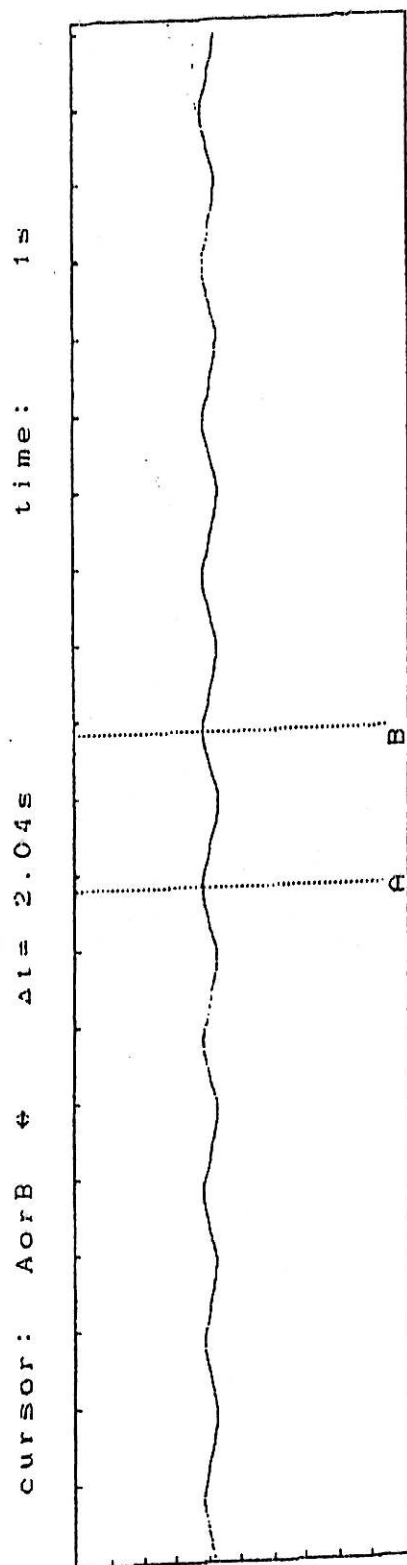


Rajah 4.9 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.8 saat

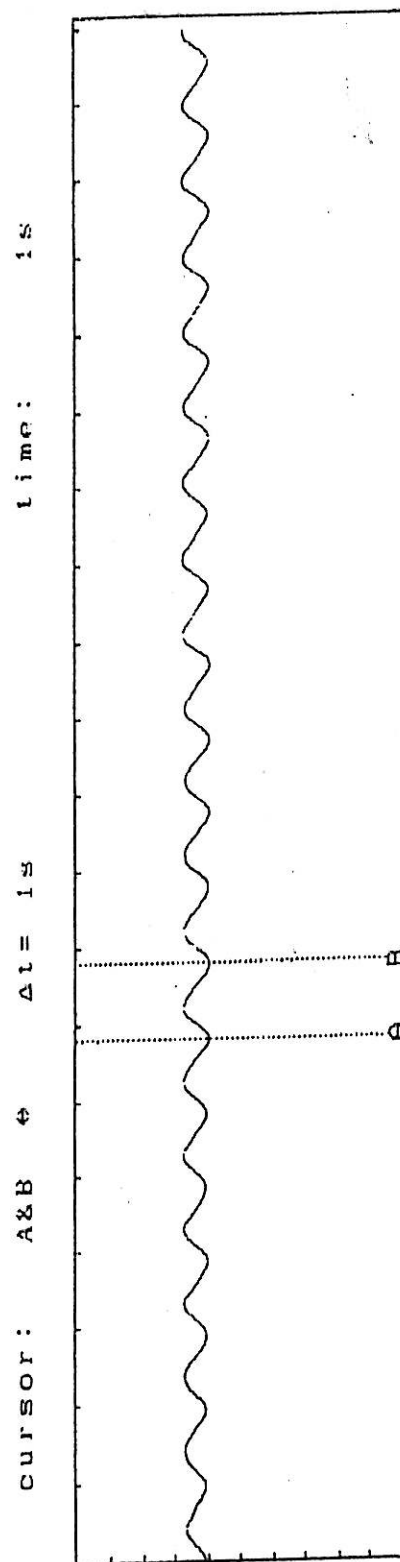
cursor: AorB ⇄ $\Delta t = 2s$ time: 1s



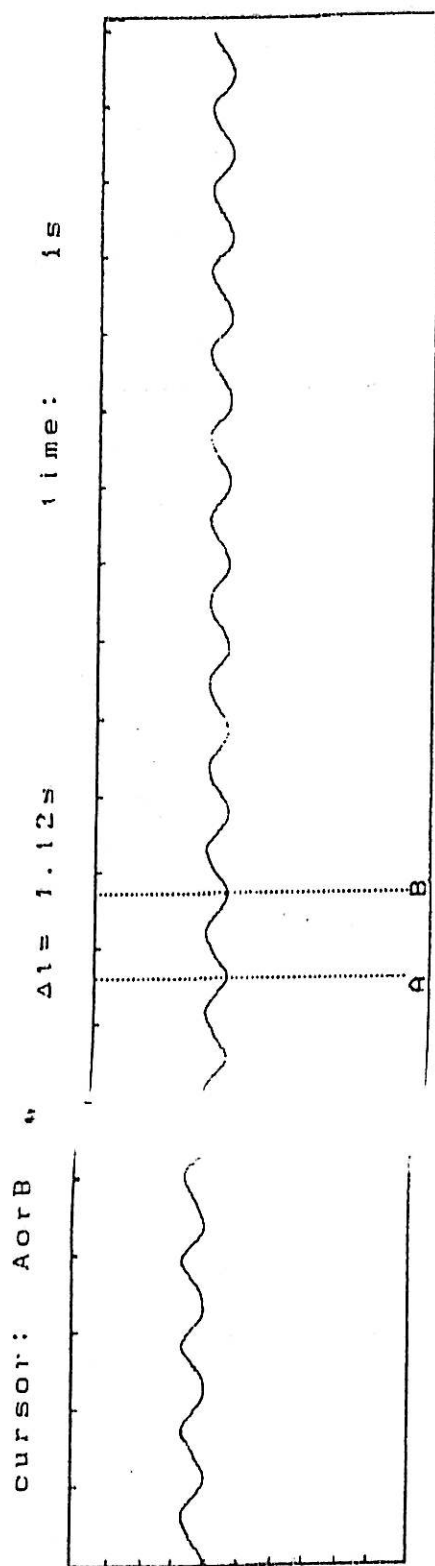
Rajah 4.10 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 1.9 saat



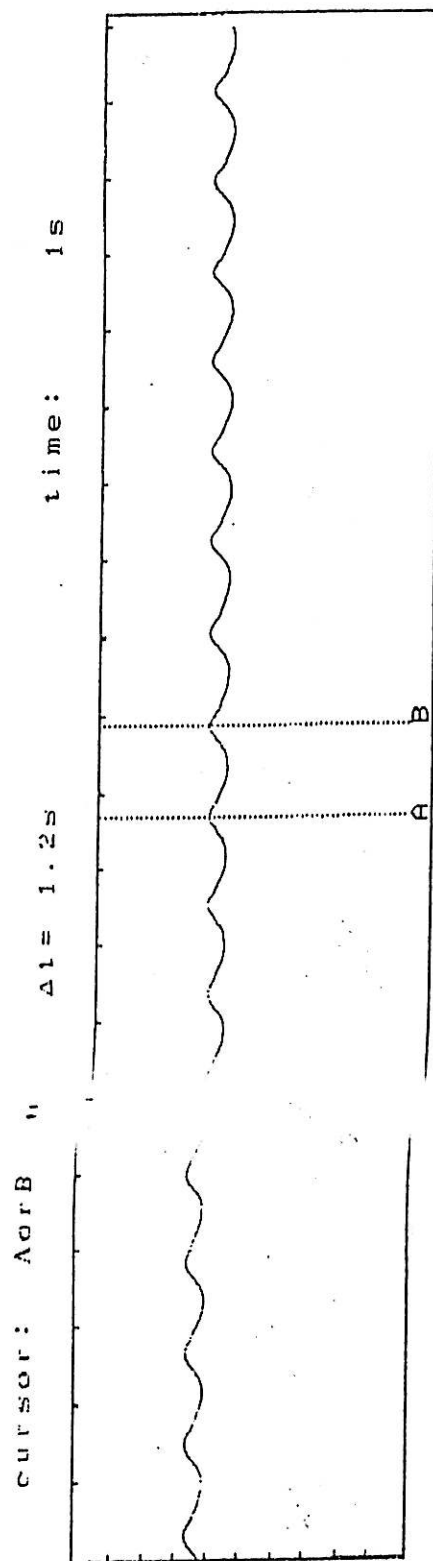
Rajah 4.11 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh piston pada tempoh 2.0 saat



Rajah 4.12 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.0 saat

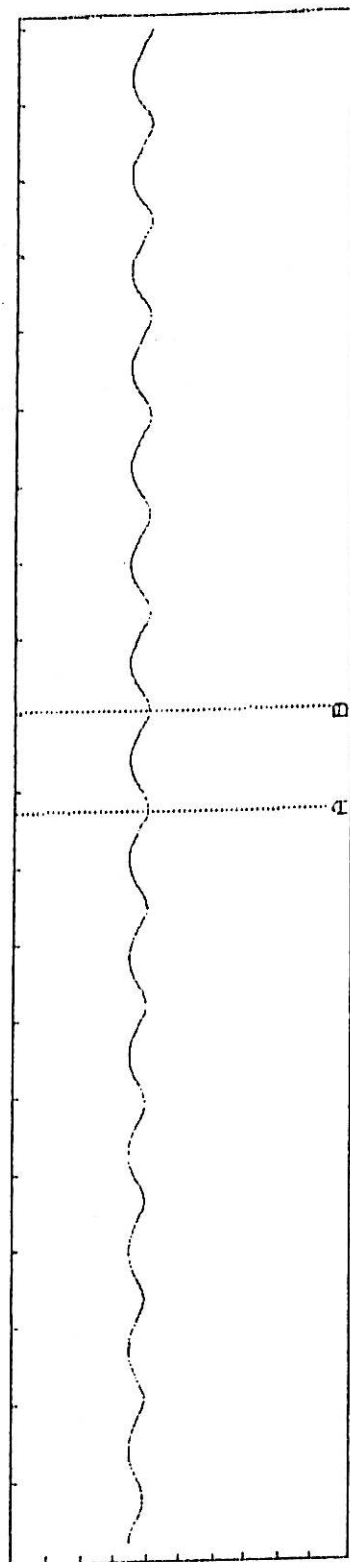


Rajah 4.13 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.1 saat



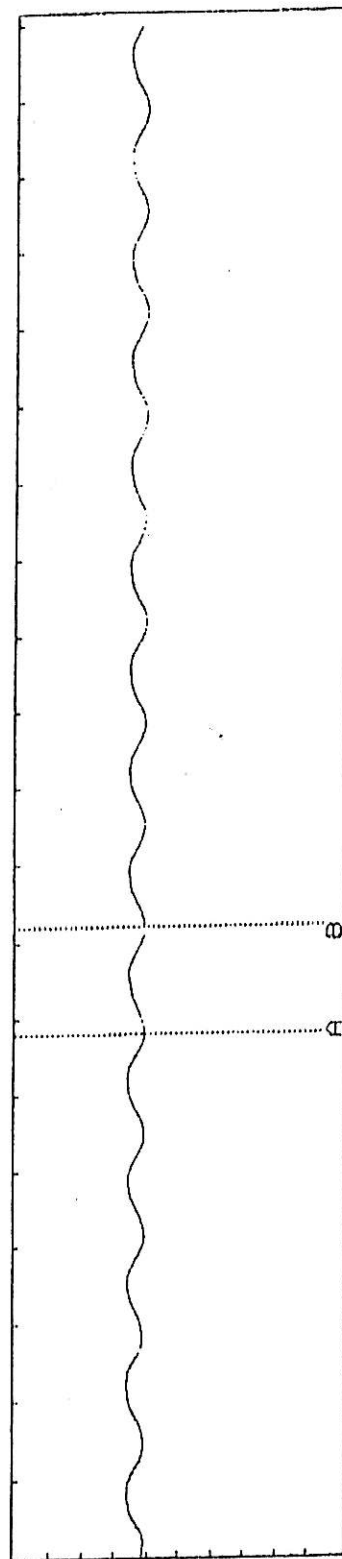
Rajah 4.14 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.2 saat

cursor: A or B $\Delta t = 1.32s$ time: 1s

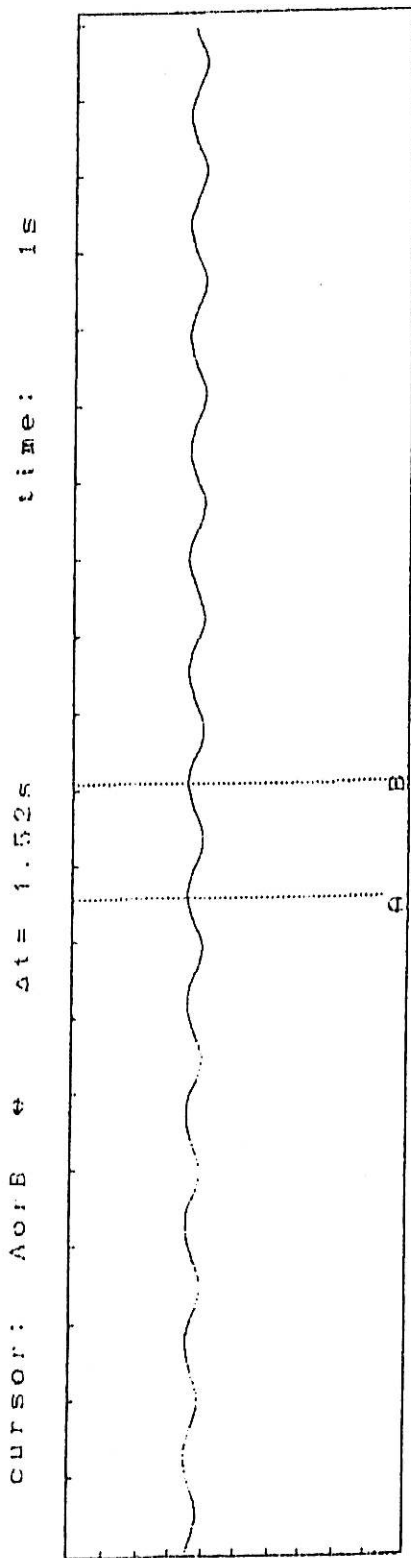


Rajah 4.15 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.3 saat

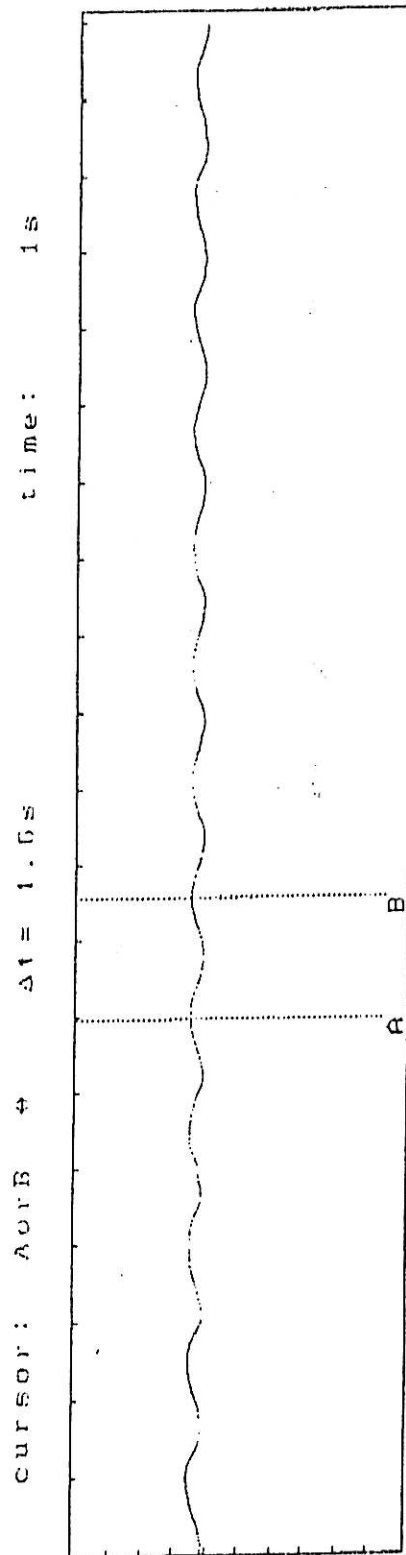
cursor: A or B $\Delta t = 1.4s$ time: 1s



Rajah 4.16 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.4 saat

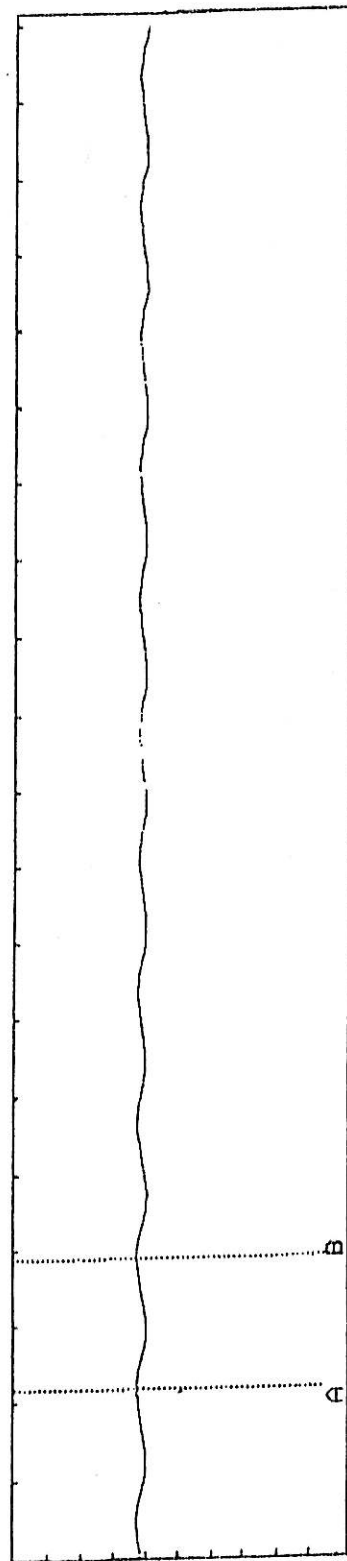


Rajah 4.17 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.5 saat



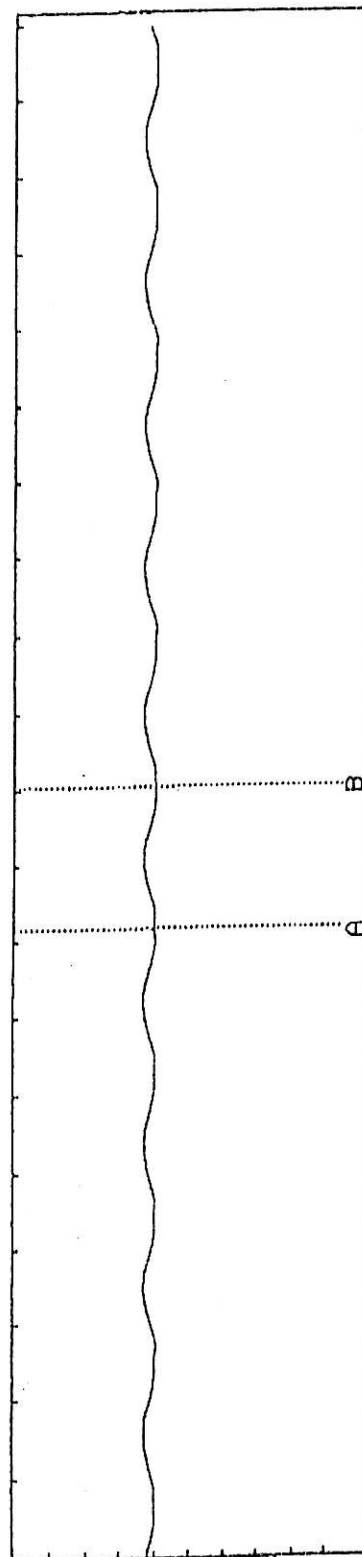
Rajah 4.18 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.6 saat

cursor: AorB ← $\Delta t = 1.72s$ time: 1s



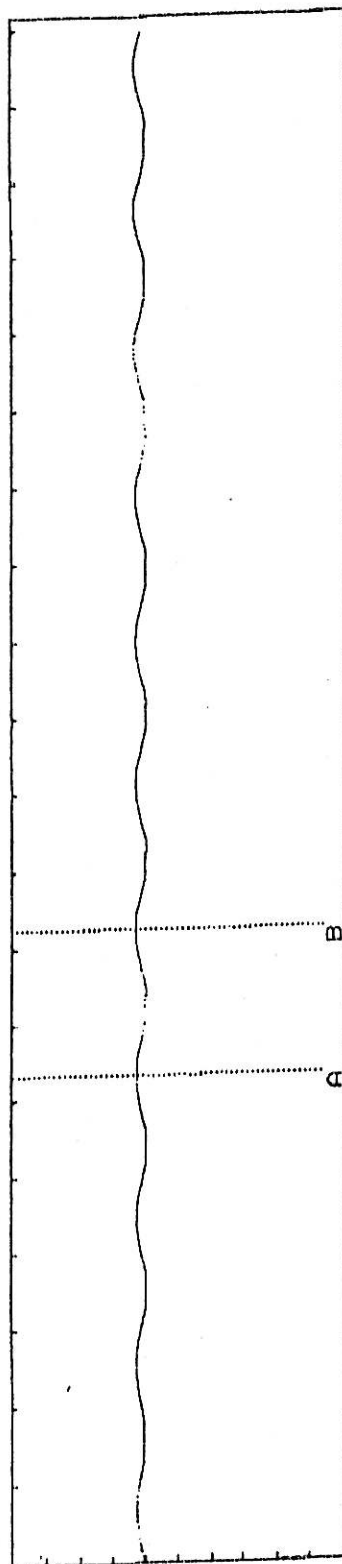
Rajah 4.19 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.7 saat

cursor: AorB ← $\Delta t = 1.88s$ time: 1s



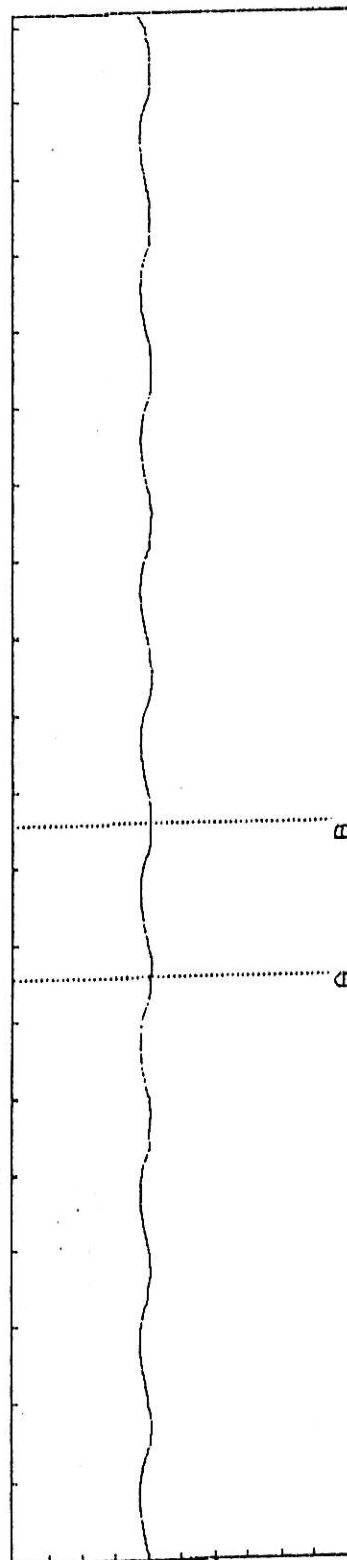
Rajah 4.20 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.8 saat

cursor: AorB $\Delta t = 1.92s$ time: 1s



Rajah 4.21 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 1.9 saat

cursor: AorB $\Delta t = 2s$ time: 1s



Rajah 4.22 : Profil bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh flap pada tempoh 2.0 saat

4.2 Tempoh Gelombang dan Tinggi Gelombang

Dapat diperhatikan daripada profil-profil gelombang bahawa panjang gelombang adalah tidak sama pada semua profil. Panjang gelombang bertambah mengikut pertambahan tempoh ayunan. Ini disebabkan panjang gelombang adalah bergantung kepada tempoh gelombangnya seperti yang diberikan oleh persamaan yang ditunjukkan dalam Jadual 2.1.

Tinggi gelombang bagi gelombang yang dijanakan dapat ditentukan pada skrin rekoder. Ini dapat dilakukan dengan mengubah mod pengukuran daripada mengukur tempoh (kursor A dan B menegak) kepada mod mengukur tinggi gelombang (kursor A dan B melintang). Rajah-rajah profil gelombang yang ditunjukkan tidak memaparkan kursor melintang kerana hanya satu mod sahaja yang dibenarkan pada satu masa untuk membuat pengukuran dan pencetakan profil.

Tinggi gelombang adalah sama dengan jarak ayunan pengayuh. Dalam pengujian gelombang ini, jarak ayunan ditetapkan pada 4cm. Jadual 4.1 memberikan tempoh ayunan, tempoh gelombang dan tinggi gelombang bagi gelombang janaan kedua-dua jenis pengayuh.

Didapati bahawa tempoh gelombang yang dijanakan tidak sama dengan tempoh ayunan pengayuh dan tinggi gelombang tidak sama dengan jarak ayunan. Ini adalah disebabkan oleh beberapa faktor. Geseran pada sistem penjana dan ketidak stabilan putaran pengawal jarak ayunan yang disebabkan oleh daya pengayuh telah mempengaruhi frekuensi ayunan pengayuh. Geseran pengayuh dan saluran air (pengayuh piston) turut menjadi punca perubahan frekuensi pengayuh.

Tinggi gelombang yang dihasilkan adalah bergantung kepada tempoh. Oleh itu, apabila tempoh gelombang berubah, tinggi gelombang turut dipengaruhi. Tinggi gelombang yang tidak sama nilainya dengan jarak ayunan pengayuh juga disebabkan oleh kesan superposisi di mana amplitud gelombang bertambah apabila superposisi membina berlaku dan berkurang apabila superposisi memusnah berlaku.

Walau bagaimanapun, tinggi gelombang tidak beranjak terlalu banyak daripada nilai jarak ayunan kerana penyerap gelombang telah menyerap kebanyakan gelombang tuju.

Jadual 4.1 : Tempoh ayunan, tempoh gelombang dan tinggi gelombang bagi gelombang yang dijanakan oleh pengayuh jenis piston dan jenis flap.

Tempoh ayunan (s)	Pengayuh piston		Pengayuh flap	
	Tempoh gelombang (s)	Tinggi gelombang (cm)	Tempoh gelombang (s)	Tinggi gelombang (cm)
1.0	0.92	5.221	1.00	5.316
1.1	1.00	5.125	1.12	5.125
1.2	1.04	4.647	1.20	5.029
1.3	1.08	4.743	1.32	5.029
1.4	1.20	4.743	1.40	4.838
1.5	1.40	4.360	1.52	4.838
1.6	1.52	4.551	1.60	4.647
1.7	1.72	4.256	1.72	4.360
1.8	1.92	4.456	1.88	4.360
1.9	2.00	4.456	1.92	4.360
2.0	2.04	4.551	2.00	4.360

Geseran dan ketidak stabilan pada sistem penjana adalah disebabkan keseluruhan sistem tidak direkabentuk dengan mempertimbangkan faktor-faktor mekanikal dengan teliti seperti daya dan kuasa yang perlu ditanggung oleh pengayuh semasa penjanaan gelombang, daya yang dikenakan pada sistem penukaran gerakan dan sebagainya.

BAB V

KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan

Projek ini menitikberatkan usaha untuk merekabentuk dan membina satu sistem penjana gelombang air yang mampu menjanakan gelombang air dengan menggunakan dua jenis pengayuh yang berlainan iaitu pengayuh jenis piston dan jenis flap. Pengujian gelombang kemudian dilakukan ke atas gelombang air yang dijanakan untuk menentukan kebolehgunaan sistem yang dibina.

Sistem penjana gelombang air telah berjaya direkabentuk dan dibina. Sistem ini merangkumi beberapa komponen yang penting dalam penjanaan gelombang air. Satu punca kuasa telah dibina untuk mengubah arus ulang alik kepada arus terus yang boleh diubah dalam julat 1.2 v hingga 15 v, dengan itu frekuensi pengayuh boleh diubah-ubah bagi menghasilkan tempoh gelombang yang berbeza-beza. Satu pengawal jarak ayunan telah dibina untuk mengubah jarak ayunan pengayuh bagi menjanakan gelombang pada tinggi gelombang yang berlainan. Sistem penukaran gerakan putaran kepada gerakan linear pula direkabentuk bagi menghasilkan gelombang sinusoid yang lebih baik.

Dua jenis pengayuh telah dibina iaitu jenis piston dan jenis flap. Kedua-dua jenis pengayuh ini berupaya menjanakan gelombang air dalam saluran air. Satu penyerap

gelombang diletakkan pada hujung saluran dan satu lagi pada belakang pengayuh supaya gelombang pantulan dikurangkan.

Gelombang air yang dijana juga telah diujikan. Pengujian gelombang dilakukan dengan menggunakan sensor dan direkodkan oleh rekoder. Daripada keputusan pengujian, profil gelombang yang dijanakan adalah dalam bentuk sinusoidal.

Tempoh gelombang yang dijanakan oleh pengayuh jenis piston adalah dalam julat 0.92 s hingga 2.04 s dan tinggi gelombang adalah dalam julat 4.551 cm hingga 5.221 cm. Bagi pengayuh jenis flap pula, tempoh gelombangnya dalam julat 1.00 s hingga 2.00 s dan tinggi gelombang ialah antara 4.360 cm hingga 5.316 cm.

5.2 Cadangan

Disebabkan punca sisihan tempoh dan tinggi gelombang dalam hasil pengujian ialah sistem penjana, maka beberapa usaha dicadangkan untuk memperbaiki sistem yang dibina. Bagi mengurangkan geseran pergerakan sistem, adalah dicadangkan pergerakan plat aluminium di atas landasan (Rajah 3.4) digantikan dengan sistem landasan yang lebih licin seperti 'roller' dalam laci meja.

Selain daripada itu, pembinaan suatu sistem pengawalan frekuensi pengayuh dengan perisian atau antaramuka komputer dicadangkan untuk memudahkan pengawalan ke atas sistem penjana. Tambahan pula, pengawalan yang lebih tepat melalui sistem digital boleh mengurangkan sisihan dan ralat yang disebabkan oleh manusia.

Dalam projek ini, pengujian gelombang hanya setakat mendapatkan profil gelombang, tempoh dan tinggi gelombang sahaja. Untuk kajian yang lebih mendalam, penggunaan peralatan dan tolok pengukuran yang lebih maju digalakkan supaya

dapat menguji pelbagai sifat gelombang dan juga kinematik serta dinamik gelombang air.

Selain daripada itu, struktur-struktur pada model juga boleh menjadi sesuatu kajian. Kecerunan penyerap gelombang memainkan peranan yang penting dalam menyerap gelombang tuju dan mengurangkan gelombang pantulan. Untuk kajian lanjutan, dicadangkan untuk menjalankan pengujian tentang kesan kecerunan penyerap gelombang terhadap gelombang yang dicerap.

Terdapat pelbagai jenis lagi pengayuh yang digunakan untuk menjanakan gelombang. Kebanyakannya belum dapat diterangkan secara teori dan hanya dapat digambarkan dengan menggunakan model fizikal. Oleh itu, dicadangkan juga kajian dijalankan tentang kesan jenis pengayuh terhadap gelombang yang dijanakan dan hubungannya dengan teori-teori gelombang.

SENARAI RUJUKAN

- Amer Nordin bin Darus dan Mohd. Ramzan bin Mainal (1992). "Hidrodinamik: Teori dan penggunaan." Johor Bahru, Malaysia: Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia
- Beer, T. (1983). "Environmental Oceanography : An Introduction to the Behavior of Coastal Waters." Oxford, England : Pergamon Press, Inc. 37-62.
- Bullock, G. N. and Murton, G. I. (1989). "Performance of a Wedge-Type Absorbing Wave Maker." *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers. 115. 1-17.
- Chester, L. N. (1990). "Instrumentation and Control : Fundamentals and Applications." Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Cooper, W. D. (1985). "Electronic Instrumentation and Measurement Techniques." Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 359-361
- Dalrymple, R. A. (1985). " Introduction to Physical Models in Coastal Engineering." in Dalrymple, R. A. (Ed.) "Physical Modelling in Coastal Engineering." Rotterdam, The Netherlands : A. A. Balkema. 3-9.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (1991). "Water Waves Mechanics for Engineers and Scientists." Singapore : World Scientific Publishing CO. Pte, Ltd..
- Hughes, S. A. (1993). "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering." Singapore : World Scientific Publishing CO. Pte, Ltd.

- Ivicsics, L. (1980). "Hydraulics Models." Fort Collins, Colorado : Water Resources Publication.
- Kamphuis, J. W. (1991). "Physical Modelling." in Herbich, J. B. (Ed.) "Handbook of Coastal and Ocean Engineering." Vol. 2. Houston, Texas : Gulf Publishing Company.
- Langhaar, H. L. (1951). "Dimensional Analysis and Theory of Models." New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Madsen, O. S. (1970). "Waves Generated by a Piston-Type Wave Maker." *Proceedings of the 12th Coastal Engineering Conference*, American Society of Civil Engineers. 1. 587-607.
- Mat Nawi Wan Hassan (1994). "Kajidaya Bendalir." Malaysia : Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia.
- McCormick, M. E. (1973). "Ocean Engineering Wave Mechanics." Canada : John Wiley & Sons, Inc. 22-40.
- McLellan, H. J. (1968). "Elements of Physical Oceanography." Oxford, England : Pergamon Press, Inc. 92-106.
- Nor Azizi Mohamed (1999). "The Modelling and Measurement of Water Waves Propagating Over A Depressed Bottom Topography." Universiti Teknologi Malaysia : Tesis Ph.D.
- Svendsen, I. A. (1985). "Physical Modelling of Water Waves." in Dalrymple, R. A. (Ed.) "Physical Modelling in Coastal Engineering." Rotterdam, The Netherlands : A. A. Balkema. 13-47.
- Transter, R. J. (1979). "DC Power Supplies." Reston, Virginia : Reston Publishing Company, Inc.

Tucker, M. J. (1991). "Waves in Ocean Engineering : measurement, analysis, interpretation." West Sussex, England : Ellis Horwood Limited.